

Metodología de evaluación de accesibilidad en rutas urbanas patrimoniales mediante ArcGIS

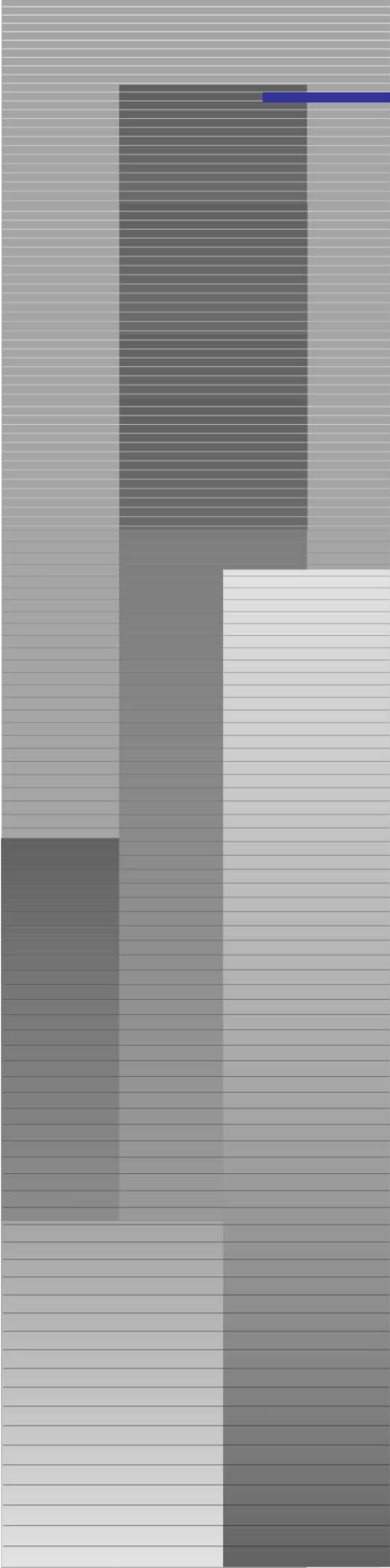


Universitat Politècnica de Catalunya

Centre de Política de Sòl i Valoracions



JULIO DE 2010



Metodología de evaluación de accesibilidad en rutas urbanas patrimoniales mediante ArcGIS

Redacció:

Rolando Biere Arenas, Arquitecto.
Francesc Valls Dalmau, Arquitecto.

Universitat Politècnica de Catalunya

Centre de Política de Sòl i Valoracions

JULIO DE 2010

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE ACCESIBILIDAD EN RUTAS URBANAS PATRIMONIALES MEDIANTE ARCGIS

Índice de contenidos

1	DISEÑO DE UN MODULO DE EVALUACIÓN DE ACCESIBILIDAD URBANA	4
1.1	ANTECEDENTES	4
1.2	INFORMACIÓN DE PARTIDA.....	4
1.2.1	<i>Importación de la información de la nube de puntos.....</i>	<i>4</i>
1.2.2	<i>Cartografía del Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC).....</i>	<i>6</i>
1.2.3	<i>Cartografía del Ayuntamiento de Tossa de Mar.....</i>	<i>7</i>
1.3	METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA ACCESIBILIDAD AL PATRIMONIO UTILIZANDO ARCGIS.....	9
1.3.1	<i>Conversión a entidades de tipo punto.....</i>	<i>9</i>
1.3.2	<i>Conversión a entidad de tipo ráster</i>	<i>10</i>
1.3.3	<i>Conversión a entidad tipo TIN.....</i>	<i>12</i>
1.3.4	<i>Obtención de la topografía.....</i>	<i>17</i>
	• <i>Viabilidad de la utilización de la información del ICC</i>	<i>17</i>
	• <i>Obtención de muestras representativas.....</i>	<i>20</i>
	• <i>Generación de una topografía representativa</i>	<i>21</i>
	• <i>Generación de un Modelo Digital de Terreno, MDT</i>	<i>22</i>
	• <i>Generación de un TIN.....</i>	<i>23</i>
1.3.5	<i>Identificación de los obstáculos</i>	<i>24</i>
	• <i>Identificación de fachadas.....</i>	<i>24</i>
	• <i>Identificación de escaleras</i>	<i>25</i>
	• <i>Identificación de pasos con anchura insuficiente</i>	<i>27</i>
1.3.6	<i>Preparación de la geometría para el análisis de redes</i>	<i>30</i>
1.3.7	<i>Definición de las redes para el análisis</i>	<i>36</i>
1.3.8	<i>Obtención de los itinerarios accesibles</i>	<i>46</i>

Índice de tablas

TABLA 23: EVALUADOR DE DISTANCIA DE LA RED PARA USUARIO ESTÁNDAR	38
TABLA 24: EVALUADOR DE RESTRICCIÓN DE ALTURA DE LA RED PARA USUARIO ESTÁNDAR	38
TABLA 25: EVALUADOR DE DISTANCIA DE LA RED PARA USUARIO CON MOVILIDAD REDUCIDA.....	39
TABLA 26: EVALUADOR DE RESTRICCIÓN DE ALTURA DE LA RED PARA USUARIO CON MOVILIDAD REDUCIDA	40
TABLA 27: EVALUADOR DE RESTRICCIÓN DE ANCHURA DE LA RED PARA USUARIO CON MOVILIDAD REDUCIDA.....	40
TABLA 28: EVALUADOR DE RESTRICCIÓN DE ESCALERAS DE LA RED PARA USUARIO CON MOVILIDAD REDUCIDA.....	41
TABLA 29: EVALUADOR DE RESTRICCIÓN DE ILUMINACIÓN DE LA RED PARA USUARIO CON MOVILIDAD REDUCIDA .	42
TABLA 30: EVALUADOR DE DISTANCIA DE LA RED PARA USUARIO EN SILLA DE RUEDAS	43
TABLA 31: EVALUADOR DE PENDIENTE DE LA RED PARA USUARIO EN SILLA DE RUEDAS	43
TABLA 32: EVALUADOR DE RESTRICCIÓN DE ALTURA DE LA RED PARA USUARIO EN SILLA DE RUEDAS	44
TABLA 33: EVALUADOR DE RESTRICCIÓN DE ANCHURA DE LA RED PARA USUARIO EN SILLA DE RUEDAS	44
TABLA 34: EVALUADOR DE RESTRICCIÓN DE ESCALERAS DE LA RED PARA USUARIO EN SILLA DE RUEDAS	45
TABLA 35: EVALUADOR DE RESTRICCIÓN DE ILUMINACIÓN DE LA RED PARA USUARIO EN SILLA DE RUEDAS	46
TABLA 36: EVALUADOR DE RESTRICCIÓN DE PENDIENTE DE LA RED PARA USUARIO EN SILLA DE RUEDAS.....	46

Índice de figuras

FIGURA 50: ARCHIVO ASCII PROCEDENTE DEL LTS	5
FIGURA 51: INFORMACIÓN VECTORIAL Y RÁSTER DEL ICC IMPORTADA, FILTRADA Y RECORTADA	7
FIGURA 52: UBICACIÓN DEL ALUMBRADO PROPORCIONADA POR EL AYUNTAMIENTO DE TOSSA DE MAR	8
FIGURA 53: INFORMACIÓN DE PLANEAMIENTO IMPORTADA Y GEOREFERENCIADA	8
FIGURA 54: NUBE DE PUNTOS IMPORTADA EN ARCGIS A PARTIR DEL ARCHIVO ASCII (2D Y 3D)	9
FIGURA 55: RÁSTER DE ELEVACIONES EN FALSO COLOR	11
FIGURA 56: NÚMERO DE PUNTOS MUESTREADOS POR PÍXEL (ROJO = 1; NEGRO = SIN DATOS)	11
FIGURA 57: TIN GENERADO A PARTIR DE LA NUBE DE PUNTOS DEL LTS	13
FIGURA 58: TIN MODELANDO COMO VACÍOS LAS ZONAS CORRESPONDIENTES A LAS MANZANAS	15
FIGURA 59: TRIÁNGULOS DEL TIN CLASIFICADOS SEGÚN SU ALTURA (CON SOMBREADO)	16
FIGURA 60: TRIÁNGULOS DEL TIN CLASIFICADOS SEGÚN LA DIRECCIÓN DE SU NORMAL	17
FIGURA 61: TRIÁNGULOS DEL TIN CLASIFICADOS SEGÚN SU PENDIENTE MÁXIMA	17
FIGURA 62: TIN OBTENIDO A PARTIR DE LA INFORMACIÓN ALTIMÉTRICA DEL ICC	18
FIGURA 63: INTERPOLACIÓN KRIGING Y VARIANZA DE LOS PUNTOS DEL ICC DEL ÁMBITO	19
FIGURA 64: VARIANZA REPRESENTADA SOBRE EL MDT GENERADO A PARTIR DE LOS PUNTOS DEL ICC	20
FIGURA 65: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MÓDULO DE IDENTIFICACIÓN DE CANDIDATOS	21
FIGURA 66: PUNTOS EVALUADOS PARA GENERAR LA TOPOGRAFÍA	21
FIGURA 67: MODELO DIGITAL DE TERRENO (INTERPOLACIÓN NATURAL NEIGHBORS) A PARTIR DE LOS PUNTOS LTS	22
FIGURA 68: MODELO DIGITAL DE TERRENO CORREGIDO A PARTIR DE LOS PUNTOS SELECCIONADOS	23
FIGURA 69: TIN GENERADO A PARTIR DE LOS PUNTOS SELECCIONADOS	23
FIGURA 70: DETECCIÓN DE FACHADAS MEDIANTE LA PENDIENTE	25
FIGURA 71: ECUACIÓN DE LA FRECUENCIA DE MUESTREO QUE PERMITE DETECTAR ESCALONES	26
FIGURA 72: ESCALERAS DIGITALIZADAS A PARTIR DE LA INFORMACIÓN DEL LTS	26
FIGURA 73: ZONA DE ANCHURA INSUFICIENTE	27
FIGURA 74: MEDICIÓN DE ALTURAS DE LA NUBE DE PUNTOS	28
FIGURA 75: ZONAS DE GÁLIBO INSUFICIENTE	28
FIGURA 76: ZONAS SUFICIENTEMENTE ILUMINADAS	29
FIGURA 77: ZONAS SUFICIENTEMENTE ILUMINADAS	30
FIGURA 78: RUTAS 3D ADOPTANDO LA COORDENADA VERTICAL DE LA SUPERFICIE TOPOGRÁFICA RECTIFICADA	31
FIGURA 79: RUTAS 3D ADOPTANDO LA COORDENADA VERTICAL DE LA SUPERFICIE TOPOGRÁFICA ORIGINAL	32
FIGURA 80: RUTAS 3D ANTES (ROJO) Y DESPUÉS (VERDE) DE LA CORRECCIÓN	32
FIGURA 81: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MODELO DE CÁLCULO DE PENDIENTES	33
FIGURA 82: FÓRMULA UTILIZADA PARA CALCULAR LA PENDIENTE EN CADA TRAMO	33
FIGURA 83: MAPA TEMÁTICO DE PENDIENTES DE LOS SUBTRAMOS	34
FIGURA 84: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MÓDULO DE CÁLCULO DE OBSTÁCULOS	34
FIGURA 85: MAPA TEMÁTICO CON EL TIPO DE OBSTÁCULO EN LOS TRAMOS	35
FIGURA 86: TRAMOS DE RUTA AFECTADOS POR ALTURA, ANCHURA, ESCALERAS, ILUMINACIÓN INSUFICIENTE	36
FIGURA 87: PUNTOS DE INTERÉS EVALUADOS EN EL ANÁLISIS DE REDES	47
FIGURA 87: RUTA CON MÚLTIPLES DESTINOS, SIGUIENDO UN ORDEN ESTABLECIDO Y OPTIMIZANDO LA DISTANCIA	48

1 DISEÑO DE UN MODULO DE EVALUACIÓN DE ACCESIBILIDAD URBANA

El presente documento explica los criterios teóricos y técnicos utilizados en la definición del módulo de accesibilidad urbana de la herramienta ACC3DE. Para la realización de este módulo se definió trabajar en un único entorno a modo de prototipo de prueba para realizar la evaluación de la accesibilidad urbana.

El caso de estudio es el de la Vila Vella de Tossa de Mar, cuyo centro histórico es el único ejemplo de población medieval fortificada que aún existe en la costa catalana y que fue declarado Monumento Histórico Artístico Nacional en 1931. Se encuentra dentro de un recinto amurallado construido entre los siglos XII y XIV, como defensa por los problemas con la piratería.

Además se ha definido la utilización de este caso por su proximidad a Barcelona, y consecuentemente a la Universidad Politécnica de Cataluña, la que será la encargada de generar todo el proceso de toma de datos y sistematización de los mismos en una metodología de análisis concreta.

1.1 Antecedentes

Las fases de análisis y diseño se han desarrollado tanto mediante software comercial como con plataformas de software libre para poder comparar sus capacidades para realizar el trabajo.

La plataforma comercial utilizada ha sido ArcGIS de ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.) que en la actualidad es la plataforma dominante en el campo de los Sistemas de Información Geográfica. Dicho software dispone de diversas extensiones para análisis especializados y un importante número de usuarios y desarrolladores que contribuyen a ampliar sus capacidades.

1.2 Información de partida

Se ha incorporado la información procedente del LTS y también cartografía adicional de dominio público para poder contrastarla con los resultados obtenidos con el LTS y también para explorar la posibilidad de replicar el trabajo realizado únicamente con estas fuentes.

1.2.1 Importación de la información de la nube de puntos

La resolución de los detalles proporcionada por el LTS nos permite analizar las características del entorno con gran precisión utilizando métodos automáticos; sin embargo, debido al sistema de captura de datos del LTS, encontramos tres problemas principales que nos impiden generar una topografía correcta de manera directa:

- Los puntos obtenidos no incorporan ningún tipo de referencia espacial, ni horizontal ni vertical, por lo que necesitan ser georeferenciados.

- Hay zonas que no contienen la información de ningún punto y por lo tanto no disponemos de datos en algunas localizaciones. Esto se produce debido a la existencia de zonas de sombra porque objetos fijos o móviles ocultan la trayectoria del laser del escáner. Debido a esto los datos deberán ser interpolados.
- Finalmente, el escáner registra objetos (árboles, personas, automóviles, mobiliario urbano, voladizos...) pero es incapaz de distinguirlos del suelo para obtener una topografía correcta. Para solventar este problema será necesario filtrar la nube de puntos para descartar estos objetos.

En el escáner de tiempo de vuelo utilizado, la resolución está limitada por la mínima fracción de tiempo que es capaz de distinguir, siendo como máximo el producto de la velocidad de la luz (constante) por la mitad del tiempo de vuelo.

La información de la nube de puntos se ha obtenido en un archivo de texto ASCII exportado desde los programas *GeoMagic* y *Pointools*, con los que se ha trabajado la geometría mediante operaciones de mallado y filtro.

El contenido de este archivo de texto es un listado con los 1.823.336 puntos del ámbito estudiado donde cada fila del archivo corresponde a la información de un único punto. En cada línea encontramos las tres coordenadas del punto en el espacio (x,y,z) separadas por comas y con el separador decimal en formato anglosajón:

Figura 1: Archivo ASCII procedente del LTS

```
[...]  
-180.000,-188.900,-15.100  
-180.000,-188.500,-15.157  
-180.000,-188.400,-15.157  
-180.000,-188.300,-15.252  
-180.000,-177.000,-13.786  
[...]
```

Como se puede apreciar en la figura anterior, la resolución espacial de esta retícula puntos es de 10 centímetros en proyección horizontal y de 1 milímetros en elevación.

1.2.2 Cartografía del Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC)

Los productos cartográficos disponibles en el Instituto Cartográfico de Cataluña que se han utilizado son los siguientes:

Base topográfica 1:5.000 (hoja 307-110)

- Formato: DXF 3D
- Fecha del vuelo: Mayo de 2001

Ortofoto 1:5.000 (hoja 307-110)

- Formato: MrSID con compresión 10
- Resolución de píxel de 0,50 metros (4638x6941)
- Fecha del vuelo: Junio de 2008

Cartografía 1:1.000 (Proyecto 08,09-2004 código 00119771600)

- Formato: SHP 3D
- Fecha del vuelo: Agosto de 2004
- Fecha de revisión de campo: Diciembre de 2005

La descripción del contenido de estos archivos se ha obtenido en formato PDF en la web del ICC¹.

La información está dividida en:

- Puntos
- Líneas
- Áreas
- División en hojas del ICC

La información del archivo SHP obtenido de la web del ICC está estructurada de manera que las entidades disponen de un campo llamado "CAS" los prefijos del contenido del cual son los siguientes:

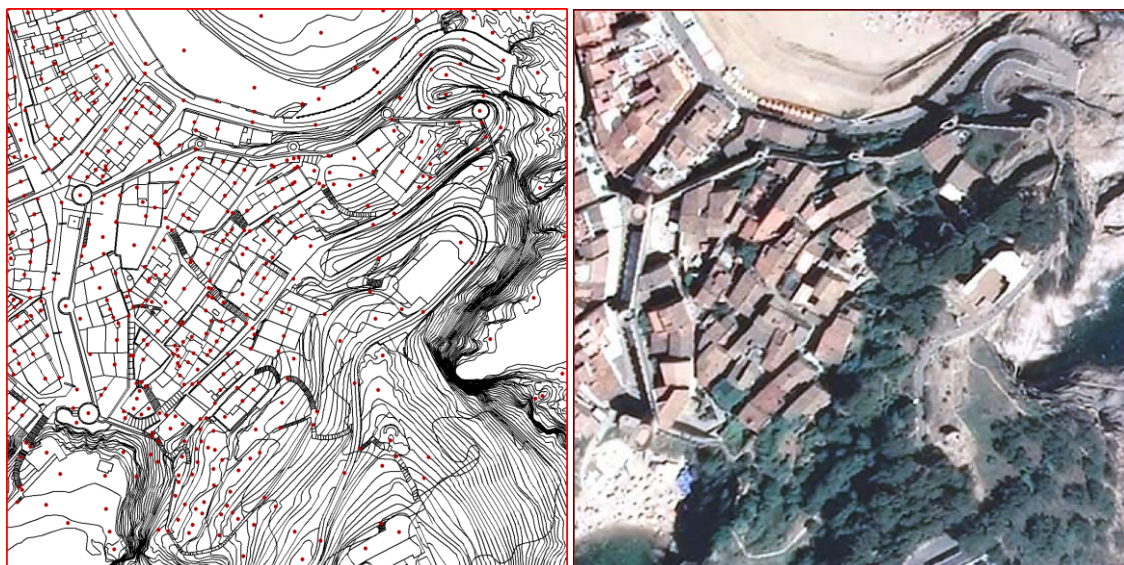
- Orografía y relieve: ORO_*
- Modelo de elevaciones: MED_*
- Hidrografía y obras hidráulicas: HID_*
- Vegetación y usos del suelo: VEG_*
- Comunicaciones y vialidad: COM_*
- Construcciones y poblaciones: CON_*
- Energía y telecomunicaciones: ENE_*
- Toponimia y anotaciones: TOP_*
- Registros: REG_*

Se ha cortado la cartografía para obtener únicamente las entidades que forman parte del ámbito de estudio y se han filtrado las siguientes para utilizarse como referencia para la georeferenciación de otra información, como se aprecia en la figura siguiente.

¹ <http://www.icc.cat/cat/Home-ICC/Inici/Cartografia/Documentacio/Especificacions-tecniques>

- Fachadas: CON_01*
- Porches: CON_02*
- Medianera: CON_03*
- Vertientes: CON_04*
- Cubiertas: CON_07*
- Ruinas: CON_10*
- Muros: CON_14* + CON_15* + CON_18
- Desniveles y barandillas: CON_20
- Escalones: CON_23
- Cumbreras: CON_29

Figura 2: Información vectorial y ráster del ICC importada, filtrada y recortada



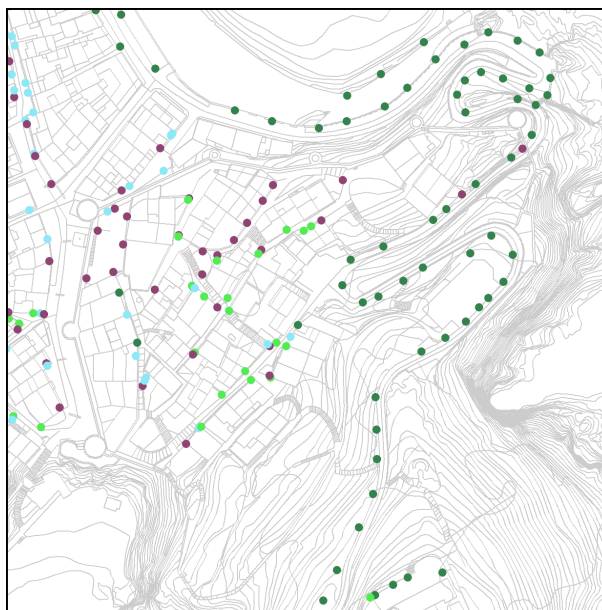
También se ha importado la información de puntos altimétricos 3D y la ortofoto para poder trabajar con ella sin depender de la cartografía WMS del ICC.

Adicionalmente se ha consultado la cartografía WMS del Catastro y de Goolzoom.

1.2.3 Cartografía del Ayuntamiento de Tossa de Mar

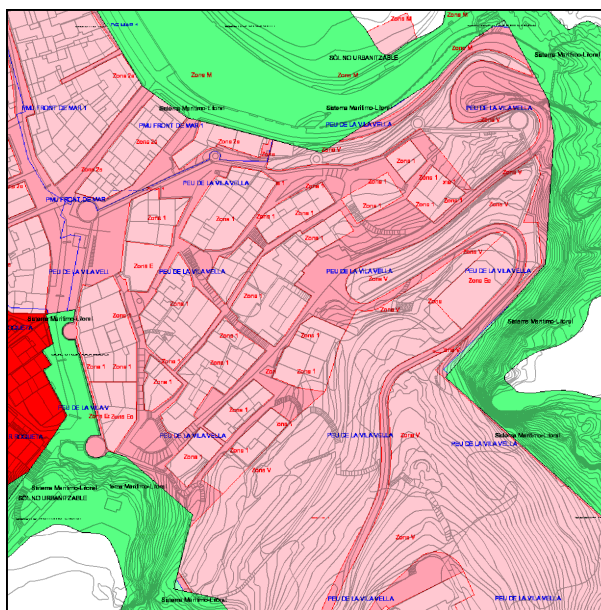
Se han importado la posición de las farolas facilitada por el Ayuntamiento de Tossa de Mar. Sólo se ha utilizado la información de su localización de manera que los campos de información que contiene se han descartado. (Figura siguiente)

Figura 3: Ubicación del alumbrado proporcionada por el Ayuntamiento de Tossa de Mar



También se ha incorporado la información de planeamiento obtenida de la web del Ayuntamiento para poder disponer de los límites de propiedad entre espacio público y privado. Como la cartografía es una imagen ordinaria sin referencia espacial, se ha tenido que georeferenciar utilizando como referencia la cartografía del ICC.

Figura 4: Información de planeamiento importada y georeferenciada



Toda esta es la información es la que se utiliza en la definición metodológica con las dos plataformas, comercial y open source, que se detallan en los apartados siguientes.

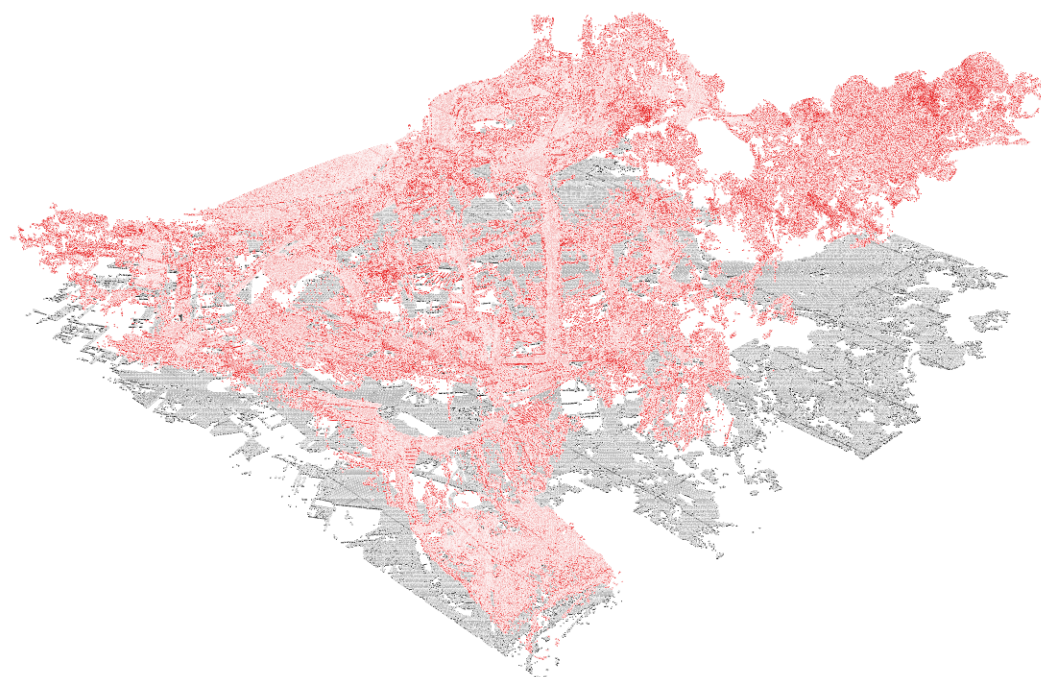
1.3 Metodología para evaluar la accesibilidad al Patrimonio utilizando ArcGIS

1.3.1 Conversión a entidades de tipo punto

Para comenzar el proceso, se ha realizado la importación a entidades tipo punto (Figura 5: Nube de puntos importada en ArcGIS a partir del archivo ASCII (2D y 3D)

), a partir del archivo de texto ASCII mediante la orden *3D Analyst Tools > Conversion > From File > ASCII 3D to Feature Class* indicando que el formato en el archivo de texto es XYZ y seleccionando *MultiPoint* como tipo de entidades a generar en contraposición a entidades tipo *Point*.

Figura 5: Nube de puntos importada en ArcGIS a partir del archivo ASCII (2D y 3D)



A diferencia de las entidades tipo *Point*, que consumen un registro para cada elemento con sus campos correspondientes, las entidades tipo *MultiPoint* son entidades también de tipo punto que se almacenan de manera conjunta en *clusters* de hasta 5.000 puntos en un solo registro para ahorrar espacio y tiempo de procesamiento.

La ventaja de utilizar este tipo de entidades es que tendremos únicamente 414 registros en comparación con los 1.823.336 registros que hubieran consumido las entidades tipo punto.

Como contrapartida, no podemos asignar campos de información a cada punto de manera individualizada. Sin embargo, para la metodología que estamos utilizando, esto no supone ningún inconveniente puesto que tan solo nos interesa la coordenada Z, que está implícita en la geometría del punto.

Al carecer de georeferenciación, los puntos se importan el origen de coordenadas situado en la intersección del ecuador con el meridiano de Greenwich. Para poder ubicar la nube de puntos en sus coordenadas correctas, se puede utilizar la herramienta *Spatial Adjustment* (sin utilizar rectificación) mediante la cual se determinan las localizaciones algunos puntos origen (en la nube de puntos) y sus destinos correspondientes (utilizando como referencia la información del ICC).

Alternativamente, se pueden convertir los puntos a una entidad de tipo *ráster* y georeferenciar este *ráster* con la herramienta *Georeferencing*; esta segunda opción ha sido la utilizada debido a su mayor facilidad para identificar elementos en el *ráster* en comparación con la nube de puntos. Posteriormente se puede convertir el *ráster* nuevamente a puntos mediante la orden *Conversion Tools > From Raster > Raster to Point*.

1.3.2 Conversión a entidad de tipo ráster

Trabajar con entidades tipo *ráster* tiene algunas ventajas para el caso que nos ocupa:

- La información de la nube de puntos procedente de *GeoMagic* ya está ordenada en una estructura de retícula y por lo tanto no se introducen distorsiones de muestreo adicionales en la conversión.
- Las herramientas de georeferenciación son mucho más potentes cuando trabajan con este tipo de entidades que con entidades vectoriales.

El *ráster* se obtiene de la nube de puntos anteriormente importada a *MultiPoint* mediante la instrucción *Conversion Tools > To Raster > Point to Raster*. Como campo para determinar el valor del *ráster* elegimos el de *shape*, con lo cual se asignará la coordenada Z del punto al valor de cada *pixel* en función de la posición del punto correspondiente en planta.

Para evitar distorsiones pediremos que la herramienta elija el valor más frecuente de la coordenada Z y que genere un *ráster* de la misma resolución que la nube de puntos (0,1 metros).

De la importación como *ráster* se ha obtenido una imagen de 2001 x 2001 *píxels* (200,1 x 200,1 metros), donde el valor del *pixel* corresponde con la coordenada Z de los puntos importados y las zonas donde no hay puntos son representadas como valores nulos, como se muestra en la **Figura 6: Ráster de elevaciones en falso color**

Posteriormente, para comprobar la correcta importación, se ha ejecutado de nuevo la instrucción *Conversion Tools > To Raster > Point to Raster*; en este caso se ha indicado que se genere un *ráster* con idénticas características pero con la cuenta del número de puntos de los cuales adopta los valores cada *pixel*. El resultado debería ser un *ráster* compuesto únicamente de 1.823.336 *píxels* de valor 1 y el resto valores nulos, que es el resultado que se ha obtenido, como se muestra en la **Figura 7: Número de puntos muestreados por *pixel* (rojo = 1; negro = sin datos)**

Figura 6: Ráster de elevaciones en falso color

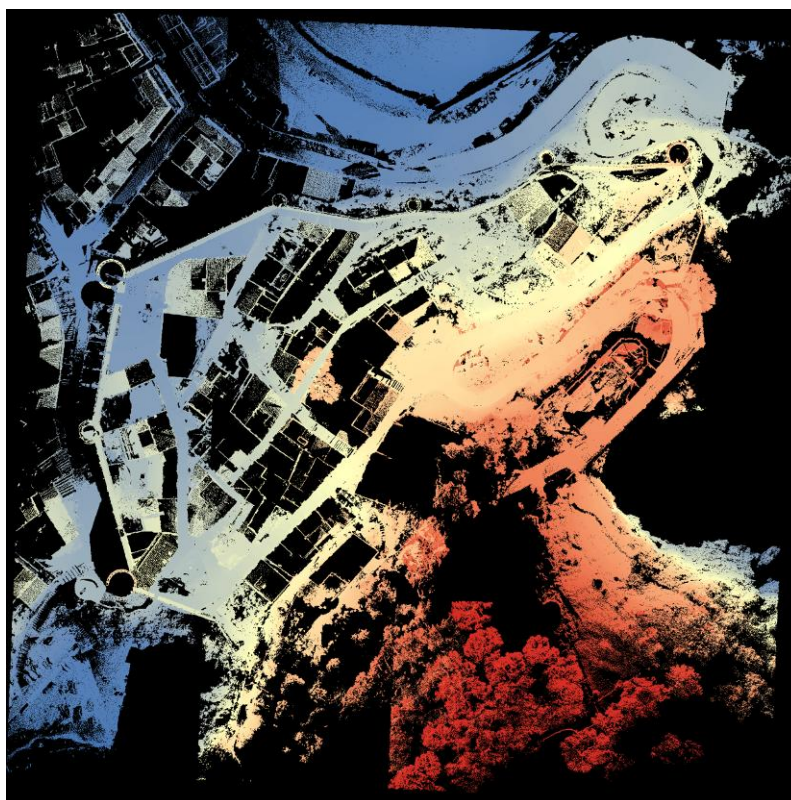
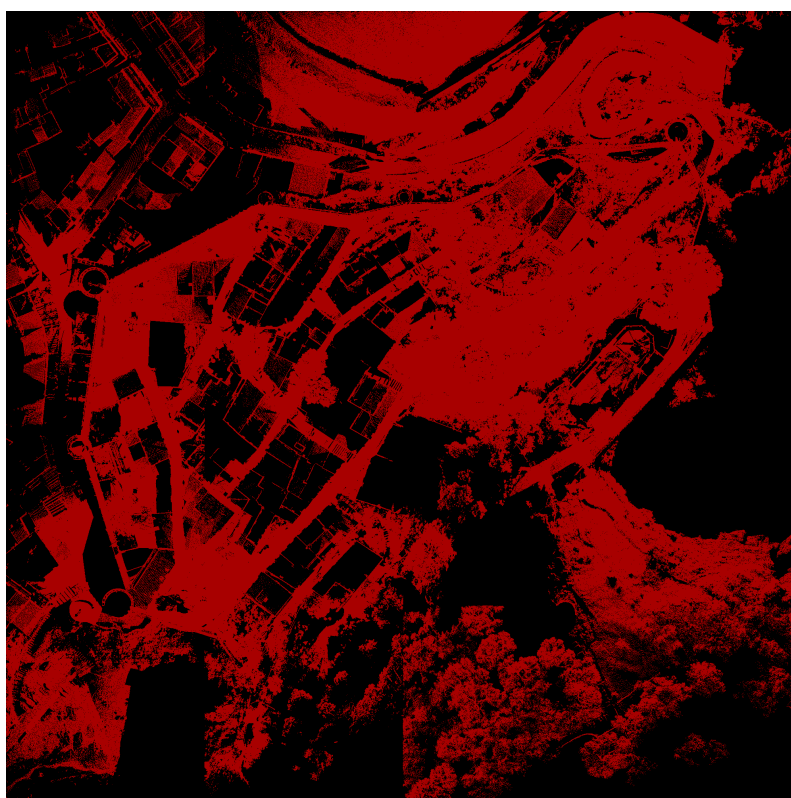


Figura 7: Número de puntos muestreados por píxel (rojo = 1; negro = sin datos)



Una vez importado el *ráster* se ha georeferenciado utilizando como referencia la cartografía del ICC. Dado que el escaneado se hizo a nivel de calle, no disponemos de lecturas de las cubiertas ni del interior de los edificios. La cobertura de la región analizada ha sido del 45,54% ($1.823.336 / 2.001^2 \times 100$) y por lo tanto el 54,49% de los *píxeles* tienen el valor nulo.

Para interpolar los valores de los puntos dónde no hay datos, se han ensayado distintos algoritmos que proporciona *ArcGIS* para estimar estos valores a partir de los valores conocidos de las entidades *MultiPoint*. Con estos ensayos se ha pretendido averiguar qué modelo se adapta mejor para predecir los valores de las zonas donde no hay datos.

Debido a que *ArcGIS* solamente puede realizar la interpolación a partir de entidades de tipo punto y no de tipo *ráster*, ha sido necesario en convertir el *ráster* previamente georeferenciado a una nube de puntos mediante la herramienta *Conversion Tools > From Ráster > Ráster to Point* de manera que obtenemos una nube de puntos georeferenciada con un campo llamado GRID_CODE correspondiente al valor del *pixel* y con posición coincidente la del centro del *pixel*.

Se han evaluado cuatro métodos deterministas (IDW, Spline, Natural Neighbor y Trend) y un método geoestadístico (Kriging). También se ha evaluado un método enfocado a obtener superficies topográficamente correctas (Topo to Ráster).

Para evaluar la calidad de los resultados obtenidos se ha aplicado la herramienta *Spatial Analyst Tools > Local > Cell Statistics* y se han comparado los resultados de la interpolación con los del *ráster* original mapificando la desviación estándar en cada punto.

Finalmente, se ha optado por el algoritmo Natural Neighbor ya que produce unos resultados comparativamente más ajustados para el conjunto de datos con los que se ha trabajado.

1.3.3 Conversión a entidad tipo TIN

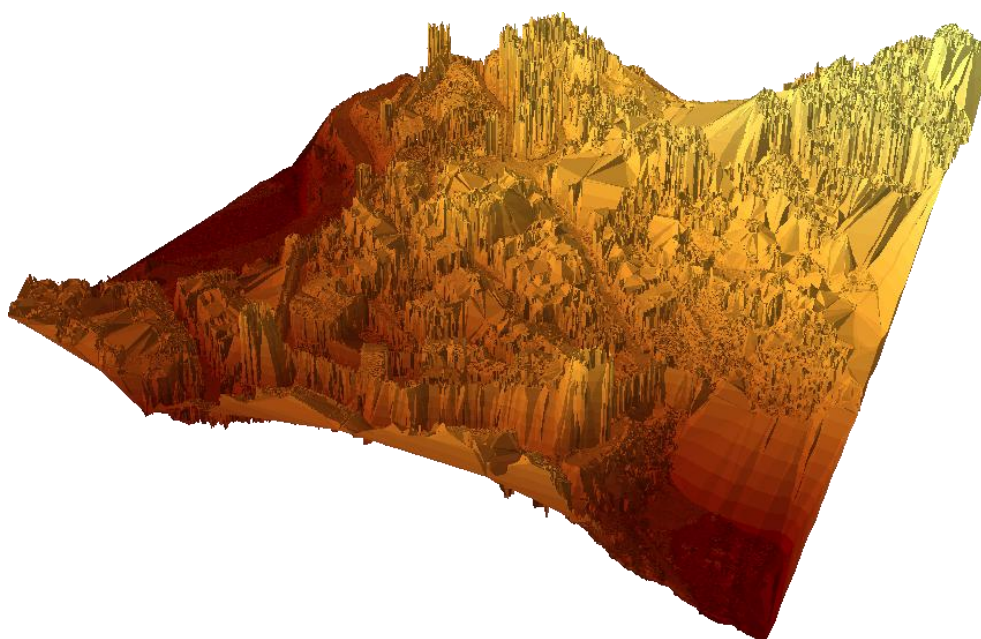
La información de los puntos del LTS también se ha estructurado en un TIN (Triangular Irregular Network).

Los TIN son una forma de almacenar información topográfica de forma vectorial, a partir de la triangulación de los puntos que representan las cotas altimétricas. En un TIN, estos puntos se convierten en vértices de triángulos, los lados de los cuales coinciden con líneas que unen pares de puntos, creando una red. Para la formación de los triángulos se utiliza la triangulación de Delaunay, que maximiza los ángulos de los triángulos generados y por lo tanto evita en lo posible la generación de triángulos excesivamente alargados.

El resultado una figura tridimensional que representa el terreno mediante triángulos, cuya proyección en planta es el *convex hull* de los puntos a partir de los cuales se ha generado el TIN.

Para modelar el terreno en *ArcGIS* se ha optado por utilizar la entidad denominada *Terrain* que consiste en un conjunto de TINs donde la geometría aumenta o disminuye su grado de detalle (número de triángulos) en función de la resolución a la que se está mostrando el terreno la entidad, según se muestra en la figura siguiente.

Figura 8: TIN generado a partir de la nube de puntos del LTS



Se han creado TINs para las resoluciones 1:1000, 1:2000, 1:5000 y 1:10.000 para facilitar la visualización a distintas escalas.

Se ha tenido que calcular la distancia media entre puntos, que es desconocida. Para averiguarla, se ha utilizado la herramienta *3D Analyst Tools > Conversion > From Feature Class > Feature Class Z to ASCII* y se ha creado un fichero de de texto con la información de los puntos en formato ASCII (formato *GENERATE*).

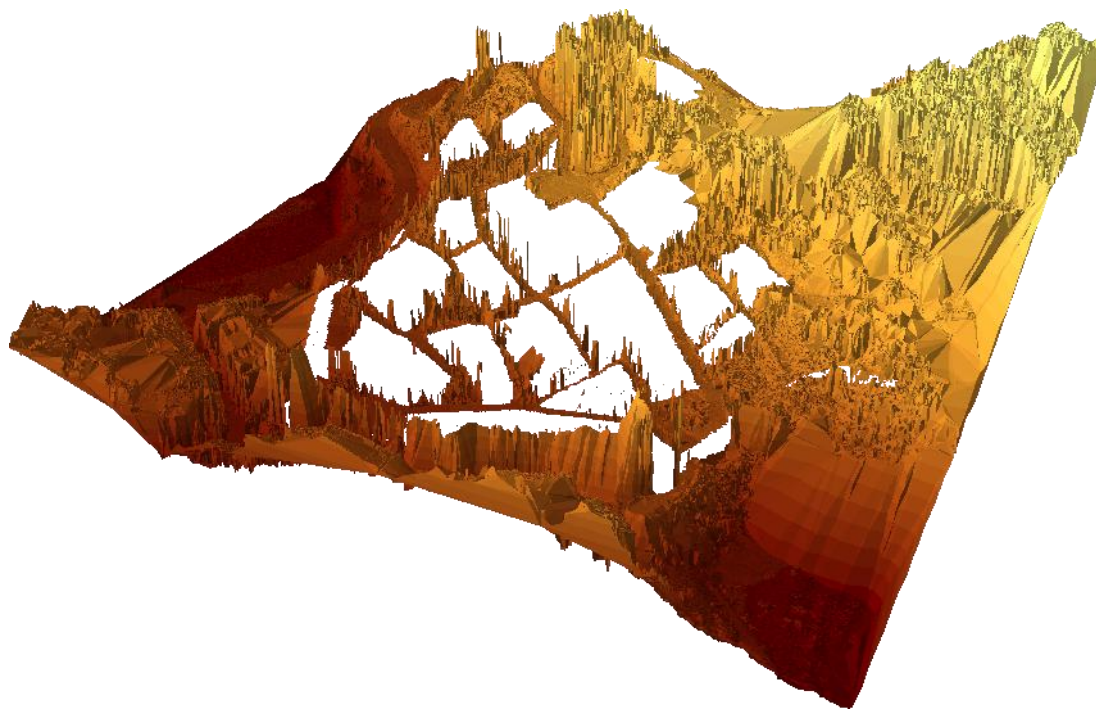
A partir de este archivo, con la orden *3D Analyst Tools > Conversion > From File > Point File Information* se ha obtenido una entidad *shape* con la información de la distancia media entre puntos, que ha resultado de 0,16 metros entre un total de 1.681.613 puntos.

Una vez generado el TIN, se han incorporado como *hard erase* los polígonos correspondientes a las manzanas debido a que los puntos capturados por el LTS que están dentro de su perímetro no nos dan ninguna información topográfica. El resultado, según se muestra en la

Figura 9: TIN modelando como vacíos las zonas correspondientes a las manzanas, permite apreciar que la topografía obtenida contiene importantes errores y que por lo tanto no es apta para el cálculo de pendientes de las rutas.

Con la visualización del TIN se hace patente que es necesario filtrar la información de la nube de puntos para excluir aquellos que no representan una muestra la topografía a estudiar.

Figura 9: TIN modelando como vacíos las zonas correspondientes a las manzanas



Se han clasificado los triángulos según su altura (*Figura 10: Triángulos del TIN clasificados según su altura (con sombreado)*), la dirección de su normal (

Figura 11: Triángulos del TIN clasificados según la dirección de su normal) y pendiente máxima (*Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.*) para detectar zonas donde existen errores de lectura que impiden evaluar la topografía sin introducir distorsiones.

Figura 10: Triángulos del TIN clasificados según su altura (con sombreado)

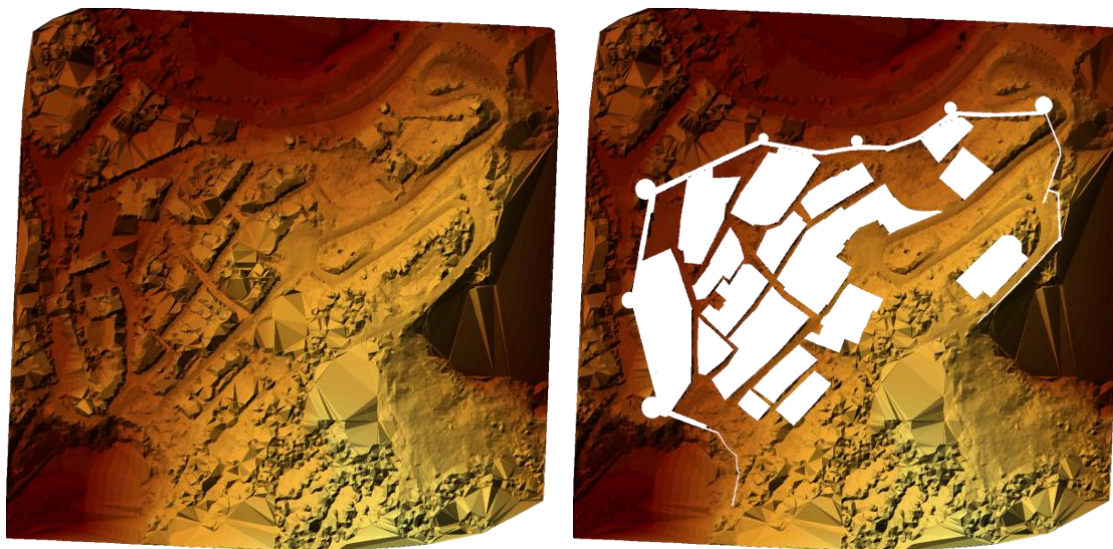


Figura 11: Triángulos del TIN clasificados según la dirección de su normal

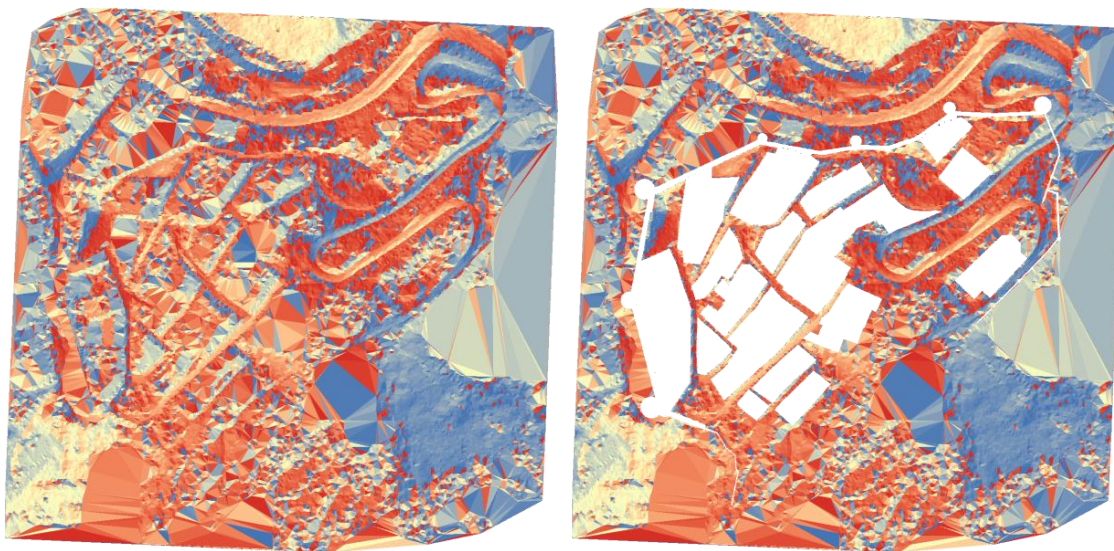
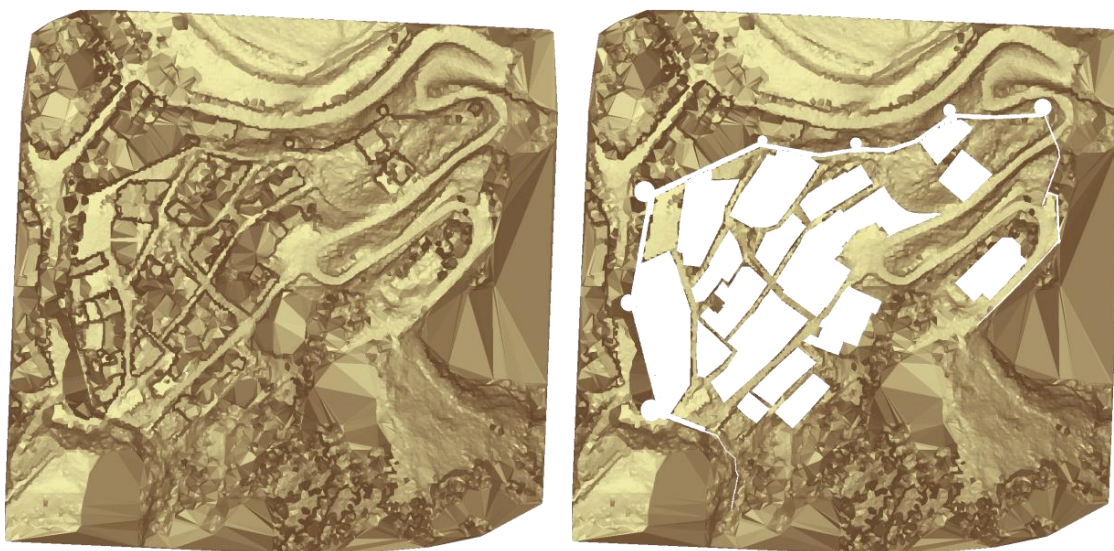


Figura 12: Triángulos del TIN clasificados según su pendiente máxima



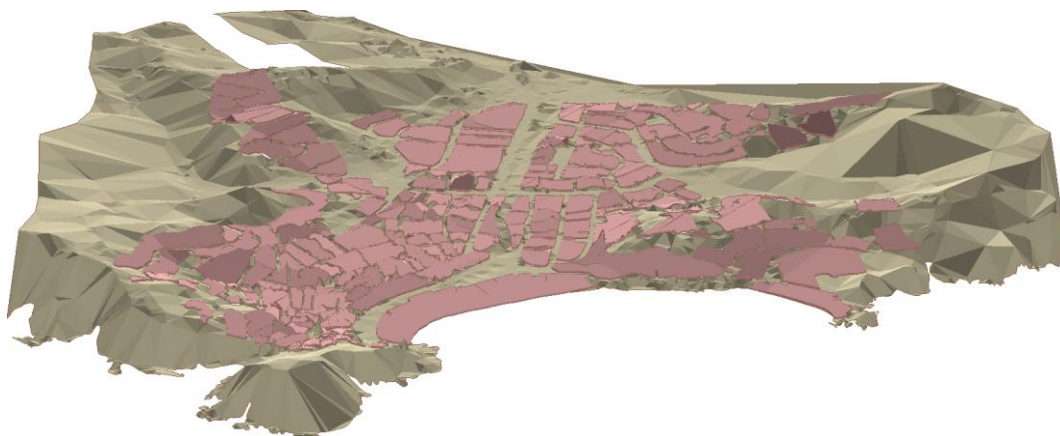
1.3.4 Obtención de la topografía

- **Viabilidad de la utilización de la información del ICC**

Se ha contemplado la utilización de los puntos altimétricos del ICC para el cálculo de pendientes. Se ha seguido el mismo procedimiento descrito anteriormente para obtener la topografía del ámbito (como se muestra en la figura siguiente) utilizando la geometría de las manzanas (que previamente se han convertido a entidades 2D²) como *hard erase*.

² Véase <http://resources.arcgis.com/content/kbase?fa=articleShow&d=30455>

Figura 13: TIN obtenido a partir de la información altimétrica del ICC



Para esto anterior se ha calculado la distancia media entre puntos, que es desconocida. Para averiguarla, se ha utilizado la herramienta *3D Analyst Tools > Conversion > From Feature Class > Feature Class Z to ASCII* y se ha creado un fichero de de texto con la información de los puntos en formato ASCII (formato *GENERATE*). A partir de este archivo, con la orden *3D Analyst Tools > Conversion > From File > Point File Information* se ha obtenido una entidad *shape* con la información de la distancia media entre puntos, que ha resultado de 16,73 metros entre un total de 15.578 puntos.

Adicionalmente, se ha hecho una interpolación Kriging y mediante el estudio de la varianza del resultado (**Figura 14: Interpolación Kriging y Varianza de los puntos del ICC del ámbito**

) se ha constatado que estos puntos no aportan una información suficientemente detallada por estar los puntos demasiado separados y debido a que algunos de ellos representan cotas de elementos construidos, lo que impide su utilización para este estudio (

Figura 15: Varianza representada sobre el MDT generado a partir de los puntos del ICC).

Figura 14: Interpolación Kriging y Varianza de los puntos del ICC del ámbito

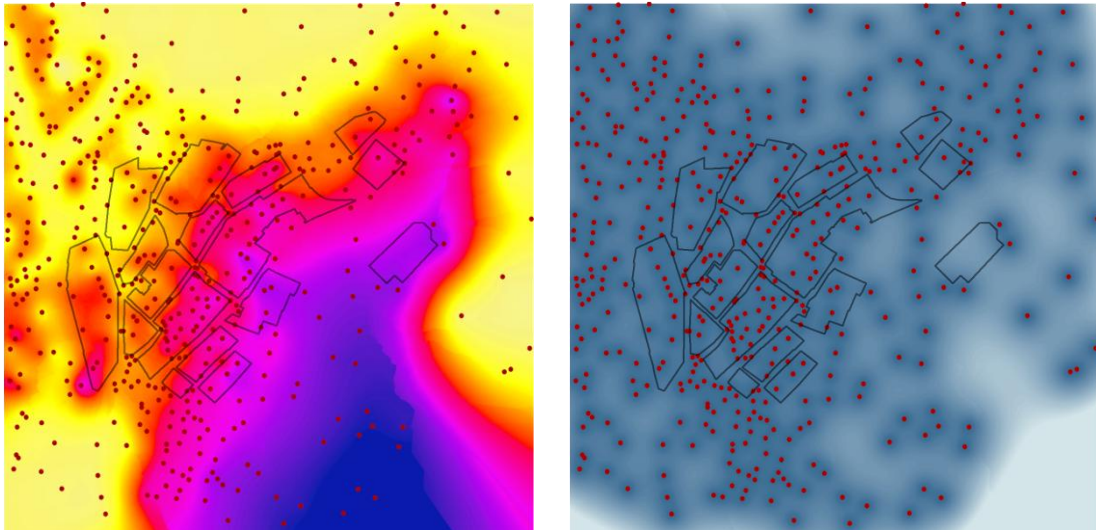
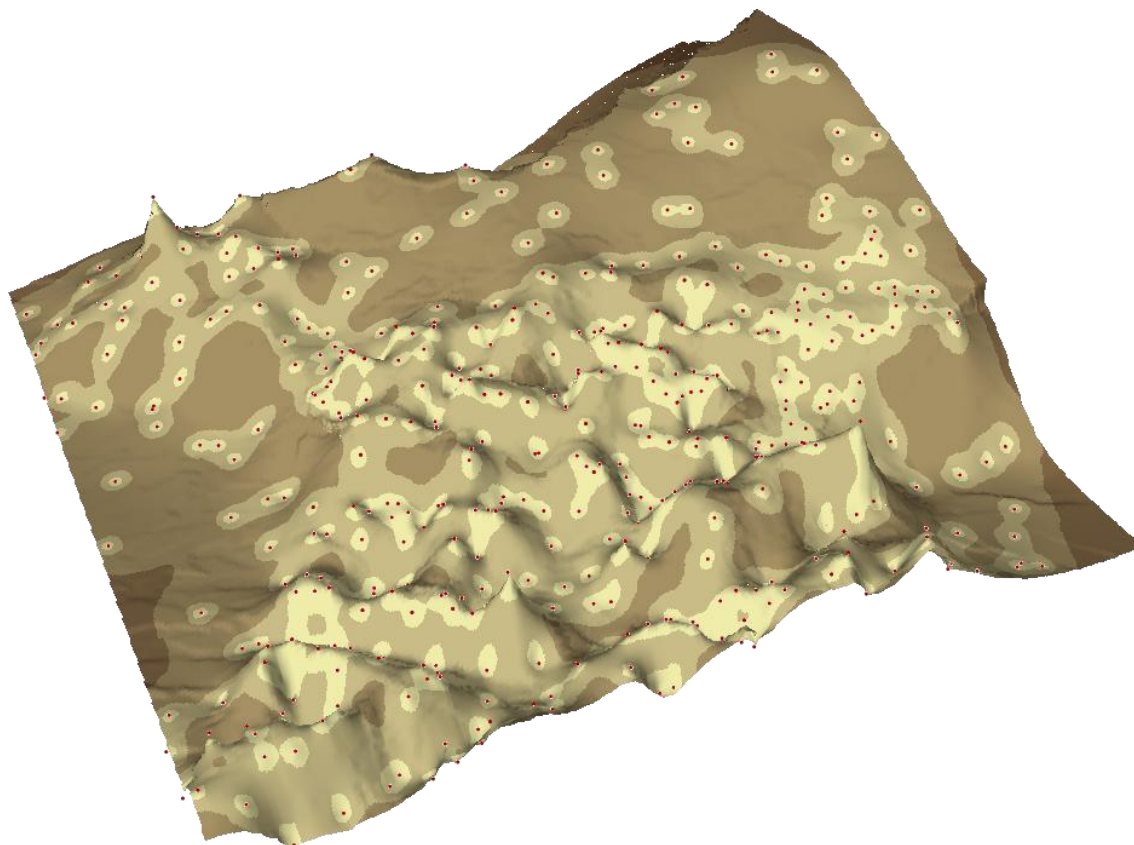


Figura 15: Varianza representada sobre el MDT generado a partir de los puntos del ICC



- **Obtención de muestras representativas**

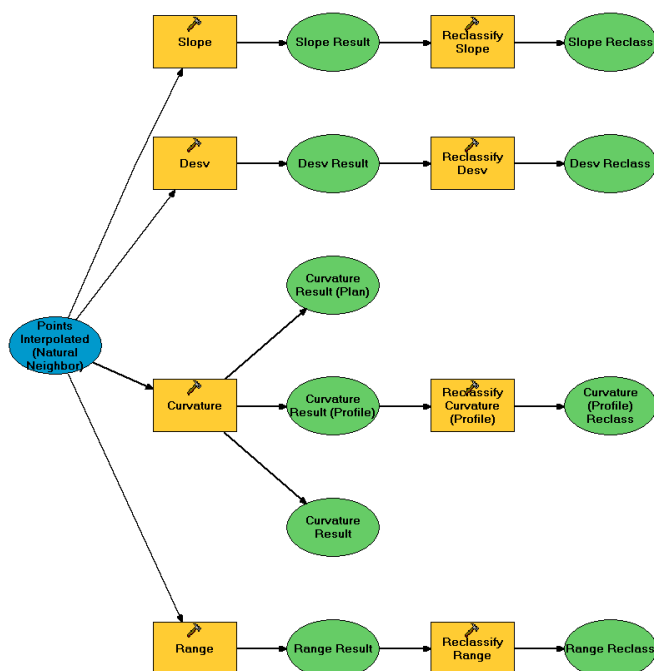
Para poder evaluar la pendiente del núcleo urbano es necesario disponer de una superficie topográfica que represente las calles por donde discurrirán los itinerarios evaluados.

La metodología consiste en generar una nueva topografía a partir de unos puntos registrados por el LTS que, mediante técnicas de clasificación, se han identificado como representativos de la topografía con un alto grado de confianza. Estos píxeles serán llamados “candidatos”.

Para la clasificación de los píxeles se ha desarrollado módulo en *Model Builder* de *ArcGIS*, el cual permite detectar posibles datos anómalos con cuatro criterios diferentes, como se aprecia en la figura siguiente.

- Desviación estándar
- Rango
- Pendiente
- Curvatura

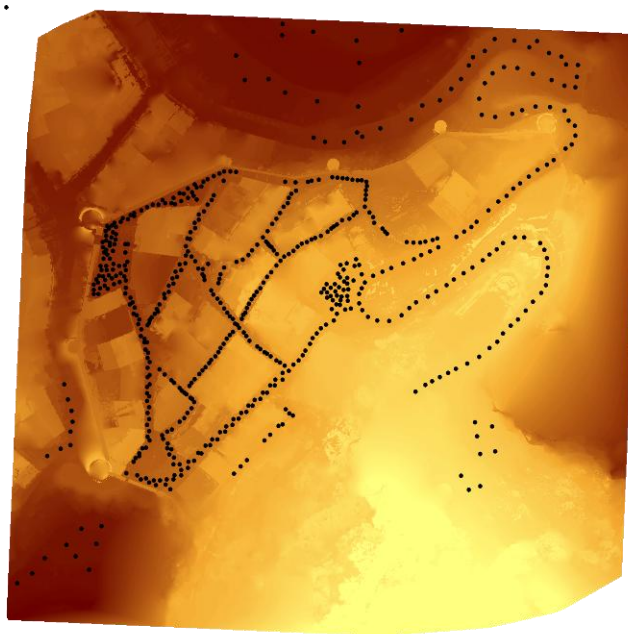
Figura 16: Diagrama de bloques del módulo de identificación de candidatos



- **Generación de una topografía representativa**

Con la información de los candidatos se digitaliza una serie de puntos 2D, considerados por las cuatro metodologías como correctos, en ubicaciones dentro de las calles.

Figura 17: Puntos evaluados para generar la topografía



A estos puntos se les ha asignado la coordenada Z proveniente del MDT mediante la herramienta *3D Analyst Tools > Functional Surface > Interpolate Shape* para asignar la coordenada Z a los puntos a partir del *ráster* de elevaciones.

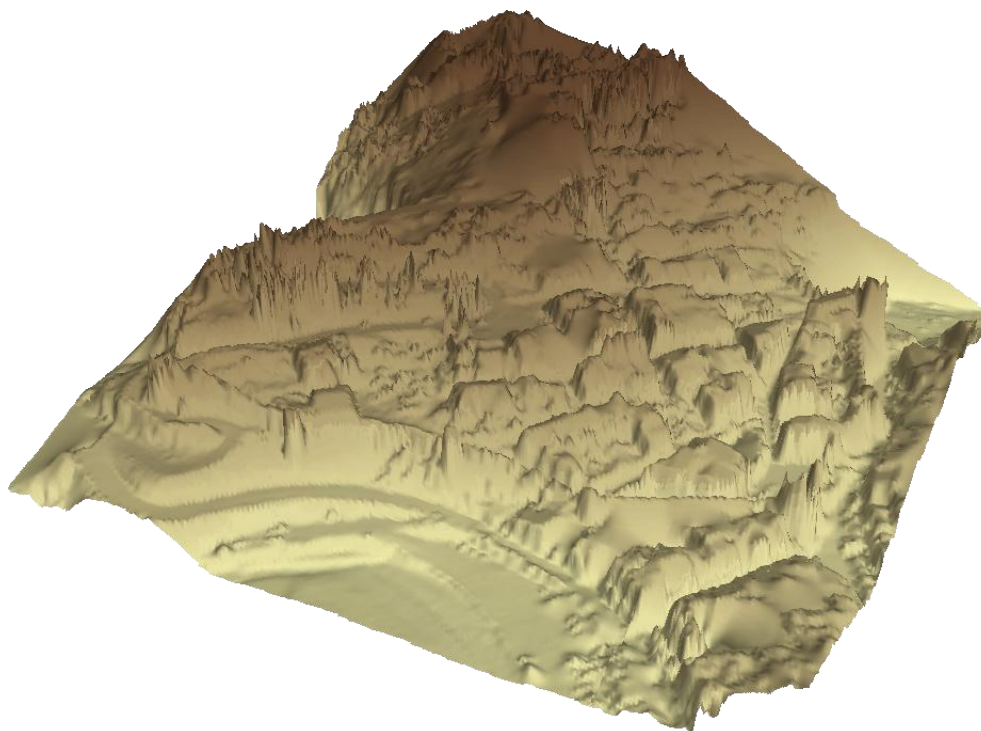
También se han añadido cuatro puntos en las cuatro esquinas del ámbito. Como se puede apreciar en la imagen, las coordenadas de estos puntos son desconocidas a partir de la información del LTS. Para conocer su coordenada Z, se ha inferido su altura a partir de la información de las curvas de nivel del ICC a través de su relación con los puntos conocidos.

A partir de estos puntos en 3D obtenidos se ha generado una nueva topografía apta para la evaluación de las pendientes que evita los errores de la topografía original. Se han obtenido dos modelos del terreno: un modelo *ráster* (MDT) y un TIN.

- **Generación de un Modelo Digital de Terreno, MDT**

A partir de la nube de puntos interpolada con el algoritmo Natural Neighbors, que ha sido evaluado como el más adecuado para el caso estudiado, se ha elaborado un Modelo Digital de Terreno (Figura siguiente).

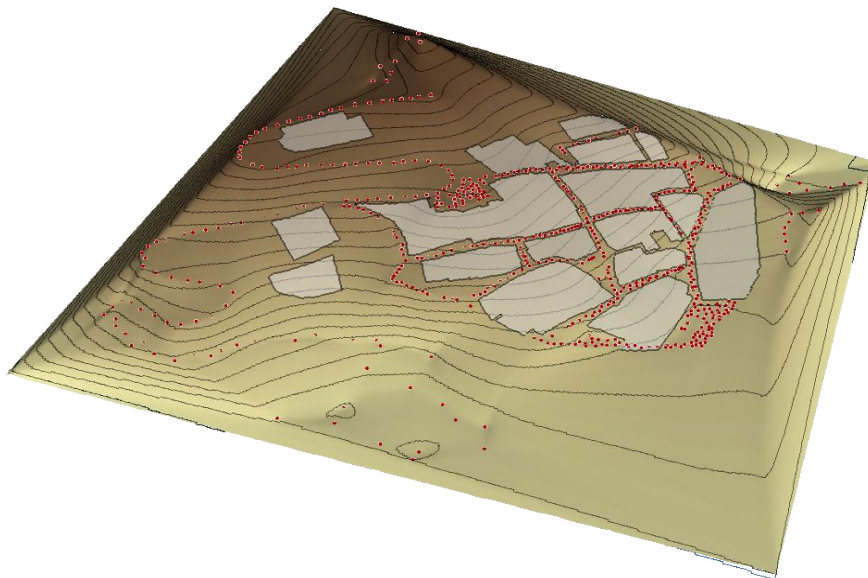
Figura 18: Modelo Digital de Terreno (interpolación Natural Neighbors) a partir de los puntos LTS



La inspección del modelo tridimensional permite apreciar que el modelo no es válido para obtener una topografía adecuada: los edificios y otras construcciones aparecen como ruido dentro de las manzanas y se distinguen otras lecturas anómalas en las calles.

Para la obtención del DTM con la topografía corregida se han utilizado los puntos anteriormente mencionados con la interpolación Natural Neighbors para obtener un nuevo DTM que representa mucho la topografía de las calles con mayor exactitud, como se muestra en la figura siguiente.

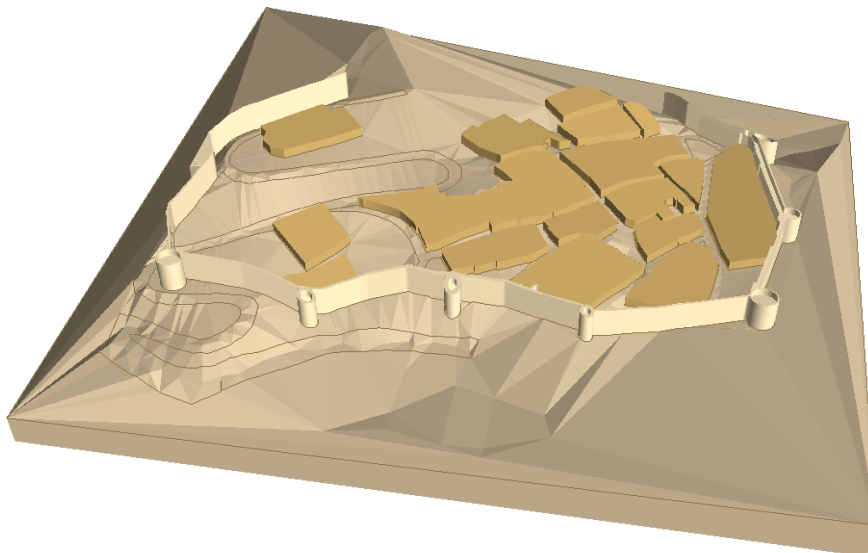
Figura 19: Modelo Digital de Terreno corregido a partir de los puntos seleccionados



- **Generación de un TIN**

Para la representación del terreno también se ha generado un TIN (mediante la creación de un *Terrain*) a partir de los puntos que se ha considerado representativos de la topografía. (Figura siguiente)

Figura 20: TIN generado a partir de los puntos seleccionados



En primer lugar, se ha tenido que calcular la distancia media entre puntos, que es desconocida. Para averiguarla, se ha utilizado la herramienta *3D Analyst Tools > Conversion > From Feature Class > Feature Class Z to ASCII* y se ha creado un fichero de texto con la información de los puntos en formato ASCII (formato GENERATE). A partir de este archivo, con la orden *3D Analyst Tools > Conversion > From File > Point File Information* se ha obtenido una entidad *shape* con la información de la distancia media entre puntos, que ha resultado de 8,73 metros entre un total de 573 puntos.

Para la construcción del *Terrain* se han utilizado:

- Los puntos corregidos con o *mass points* (la coordenada z se obtiene de la geometría con la opción *shape*)
- La proyección en planta de las manzanas corregida como *hard erase*
- La proyección en planta de la muralla y las torres (previamente digitalizadas a partir de la cartografía del ICC) como *hard erase*
- El límite rectangular del ámbito como *hard clip*
- La proyección en planta de las líneas de cuneta (previamente digitalizadas a partir de la imagen *ráster*) como *hard lines*

Se han creado TINs para las resoluciones 1:1000, 1:2000, 1:5000 y 1:10.000 para facilitar la visualización a distintas escalas. Adicionalmente, para facilitar la visualización, se han realizado las siguientes operaciones:

- Extrusión las manzanas a partir de la topografía interpolada
- Extrusión la muralla a partir de la topografía interpolada (con la altura de las torres almacenada en un campo)
- Visualización de las líneas de cuneta
- Creación de una base para disponer de una referencia en los extremos del modelo

1.3.5 Identificación de los obstáculos

Debido a que el escaneado es horizontal, los puntos se acumulan en los planos verticales de manera que se aprecia una mayor densidad de puntos en la nube capturada cuando se ve en proyección horizontal. Sin embargo, es necesaria una metodología más precisa para poder identificar estos planos verticales y otros elementos sin depender de la densidad de la nube de puntos.

- **Identificación de fachadas**

Con la información de la nube de puntos en *ArcGIS* se ha procedido a comprobar la información de las manzanas obtenidas del Instituto Cartográfico de Cataluña.

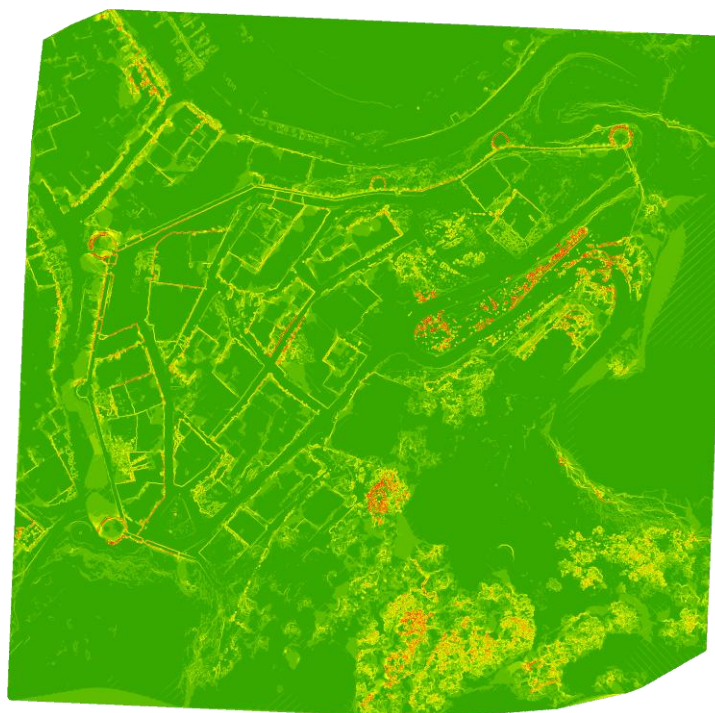
Para identificar las fachadas se han ensayado dos metodologías, las cuales permiten reconocer variaciones muy bruscas de la coordenada Z de la nube de puntos.

El primer algoritmo evalúa las pendientes en cada punto para identificar los saltos próximos a 90 grados y, el segundo, evalúa el rango de variación entre todos los puntos que se encuentran a 30 cm (3 *píxeles*) de distancia del punto estudiado.

Finalmente se ha optado por utilizar la primera metodología utilizando herramienta *Spatial Analyst Tools > Surface > Slope* y calculando la pendiente (PERCENT_RISE) para posteriormente tematizar los resultados (**Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.**).

Mediante esta técnica ha sido posible corregir algunas manzanas que estaban mal delimitadas en el archivo de origen e incluso ha sido necesario realizar la digitalización de algunas, las cuales sorprendentemente no aparecían en la cartografía del ICC. Posteriormente la información de las fachadas se utilizó para digitalizar los ejes de calle entre las manzanas.

Figura 21: Detección de fachadas mediante la pendiente



- **Identificación de escaleras**

Para poder evaluar las escaleras como obstáculo, éstas necesitan ser identificadas como tales para poder digitalizar como polígono el área que ocupan en planta.

A partir de la nube de puntos LTS es posible reconocer gran parte de los escalones debido a que el escáner barre los objetos horizontalmente y, por lo tanto, la densidad de las muestras aumenta considerablemente en los planos verticales (principalmente fachadas pero también en menor medida las contrahuellas de los escalones).

Sin embargo, esta metodología no permite detectar la totalidad de los escalones, de forma que deben reconocerse de una forma distinta.

Ello es posible porque según el teorema de Nyquist-Shannon (Figura 22: **Ecuación de la frecuencia de muestreo que permite detectar escalones**

), la resolución de los puntos (10cm) permite identificar los tramos horizontales de los escalones, habitualmente alrededor de 30cm.

Figura 22: Ecuación de la frecuencia de muestreo que permite detectar escalones

$$\text{frecuencia de muestreo} > \frac{\text{longitud contrahuella}}{2}$$

Para ello se ha utilizado el algoritmo de pendiente sobre el *ráster* importado anteriormente, con lo que se ha obtenido el valor absoluto de la primera derivada de la superficie que representan los puntos. Una vez obtenido este mapa de pendientes se ha clasificado el *ráster* resultante para poder identificar las pendientes próximas a 90 grados sexagesimales, con lo que se han podido identificar visualmente los cambios bruscos de pendiente que representan las contrahuellas.

A partir de esta información se han digitalizado los polígonos correspondientes a la proyección en planta de las escaleras (**Figura 23: Escaleras digitalizadas a partir de la información del LTS**). Una vez obtenida la capa "Obstaculo_Escalera", se ha creado un campo llamado "ESCALERA" y se ha asignado a las entidades que representan las escaleras la cadena de texto con el valor de "Escalera" como atributo.

Figura 23: Escaleras digitalizadas a partir de la información del LTS



- **Identificación de pasos con anchura insuficiente**

La anchura mínima libre de obstáculos de una calle supone un valor a tener en cuenta para ser transitable, tanto para personas discapacitadas, en mayor o menor medida, como para el resto de la población.

Para que el análisis de redes pueda considerar como obstáculo la anchura insuficiente, ha sido necesario en primer lugar identificar los tramos que no que no cumplan con la anchura mínima.

Para ello se ha utilizado la herramienta *Analysis Tools > Proximity > Buffer* para obtener unas entidades paralelas a las manzanas con una separación de la mitad de la anchura mínima³ y se han digitalizado los polígonos que corresponden a la superposición de estos polígonos con los de las manzanas adyacentes (**Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.**).

Para asistir en la identificación de las intersecciones se ha creado una topología en *ArcGIS* con la condición *Must not overlap* de manera que las intersecciones se resalten en rojo.

Una vez obtenida la capa “Obstaculo_Anchura”, se ha creado un campo llamado “ANCHURA” y se ha asignado a las entidades que representan los pasos estrechos la cadena de texto con el valor de “Anchura” como atributo.

Figura 24: Zona de anchura insuficiente



³ Se ha considerado como anchura mínima el valor de 1,50 m

- **Identificación de pasos con altura insuficiente**

De la misma forma como con el caso de la anchura mínima, la altura mínima libre de obstáculos de una calle supone un valor a tener en cuenta para ser transitable, tanto para personas discapacitadas, en mayor o menor medida, como para el resto de la población. Para establecer los polígonos de altura mínima se ha examinado el modelo 3D con Pointools con ayuda de la cartografía del ICC (**Figura 25: Medición de alturas de la nube de puntos**) y se han digitalizado los polígonos correspondientes a las zonas con altura inferior a 2,10 metros en ArcGIS. Una vez obtenida la capa “Obstaculo_Altura”, se ha creado un campo llamado “ALTURA” y se ha asignado a las entidades que representan zonas de altura insuficiente la cadena de texto con el valor de “Altura” como atributo (**Figura 26: Zonas de gálibo insuficiente**).

Figura 25: Medición de alturas de la nube de puntos



Figura 26: Zonas de gálibo insuficiente



- **Identificación de zonas con iluminación inadecuada**

Para establecer las zonas insuficientemente iluminadas se han hecho las siguientes de simplificaciones:

- Se ha supuesto que la radiación lumínica es de tipo esférico.
- No se han considerado las reflexiones de los elementos construidos
- No se ha tenido en cuenta la altura respecto al suelo
- Se ha considerado que el flujo lumínico que radian las luminarias es el mismo para todas ellas

Con estas simplificaciones se ha llegado a la conclusión que los puntos alejados en más de 12 metros de cualquier luminaria estaban insuficientemente iluminados. Se ha considerado evaluar distintos grados de iluminación (baja, media y alta), pero para el presente trabajo se ha optado por trabajar con este valor límite. Para conseguir representar gráficamente los puntos que estaban insuficientemente iluminados se ha partido de la información de la posición de estos, facilitada por el Ayuntamiento de Tossa de Mar, y se ha grafiado el lugar geométrico de los puntos que están a 12 m de ellos mediante la herramienta *Analysis Tools > Proximity > Buffer*. El resultado de esta operación es un polígono, los puntos interiores del cual consideraremos suficientemente iluminados y los exteriores iluminados de manera insuficiente (**Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.** siguiente).

Este polígono contiene un atributo con que se describe si la iluminación es o no suficiente. Una vez obtenida la capa "Obstaculo_Iluminacion", se ha creado un campo llamado "ILUMINACION" y se ha asignado a las entidades que representan las distancias menores de 12 la cadena de texto con el valor de "Iluminación Suficiente" como atributo.

Figura 27: Zonas suficientemente iluminadas



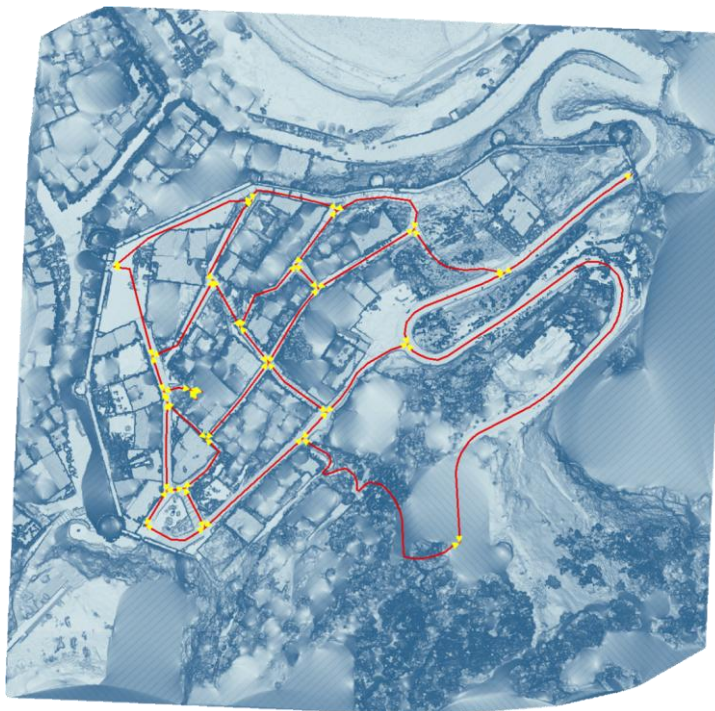
1.3.6 Preparación de la geometría para el análisis de redes

Para poder efectuar el análisis de redes necesitamos partir de un grafo plano que servirá posteriormente para construir la topología de red. Sobre este grafo de partida se realizarán una serie de operaciones que en ningún caso alterarán el hecho que sea topológicamente correcto para el análisis de redes en ArcGIS.

- **Obtención de los ejes de calles**

La cartografía del ICC dispone de los ejes de calle pero es incompleta a efectos del estudio que se pretende realizar. A partir de la cartografía de las manzanas rectificada, se han digitalizado manualmente los ejes de calle por los espacios vacíos entre las manzanas (**Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.** figura siguiente), para obtener un grafo sobre el que construir la red.

Figura 28: Zonas suficientemente iluminadas



- **División de los tramos en subtramos**

Los tramos obtenidos corresponden a los segmentos comprendidos entre intersecciones, de nodo a nodo. Ello conlleva dos problemas:

- Para el estudio de pendientes, podría darse el caso que la diferencia de cotas entre dos intersecciones fuera pequeña en relación con su longitud y, por lo tanto, que el cálculo de pendiente diera un resultado pequeño, mientras que la realidad física fuera de algunas secciones con una pendiente muy fuerte y otras con una pendiente muy pequeña o inexistente.

- El módulo de análisis de redes de *ArcGIS* considera la topología de red como un grafo plano entre nodos⁴, de manera que la presencia de obstáculos en un segmento invalida la totalidad del segmento entre los dos nodos, cosa que no nos permite evaluar correctamente las rutas.

Por estas dos razones, se ha decidido dividir los tramos originales en subtramos de longitud igual o inferior a un metro (longitud aproximada de un paso) para poder representar con mayor fidelidad las variaciones de pendiente. Para ello, se ha optado por utilizar la herramienta *Feature Conversion > Split Polylines > Equal Segments* de la extensión *XTools Pro 6.2.1* de la compañía *Data East*.

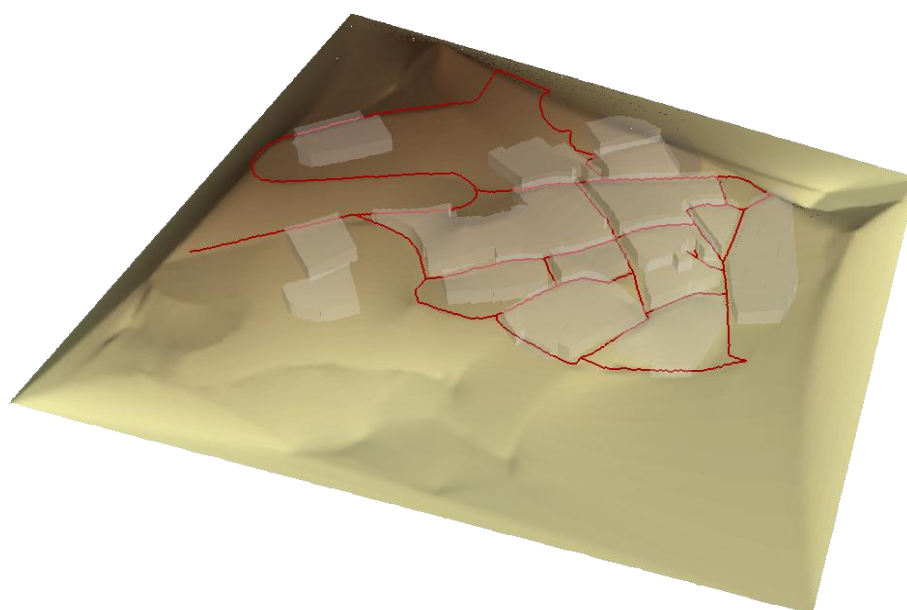
Alternativamente, es posible realizar la división de manera manual mediante la selección de cada tramo y la herramienta *Editor > Split*. Otras alternativas evaluadas pero finalmente desechadas fueron:

- Dividir los tramos en su intersección con las curvas de nivel
- Dividir los tramos en su intersección con una retícula regular (*fishnet*)

• Obtención de las rutas en 3D

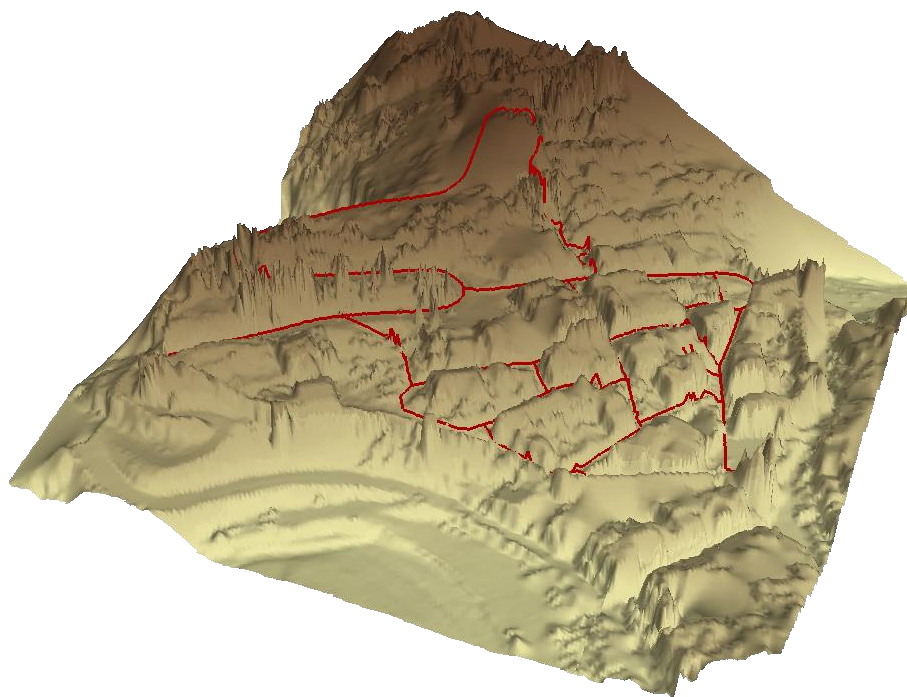
Para poder calcular la pendiente de los tramos ha sido necesario en primer lugar convertir las rutas de 2D a 3D. Para ello, se ha generado una superficie 3D a partir de la nube de puntos por interpolación mediante la herramienta *3D Analyst Tools > Functional Surface > Interpolate Shape* y se ha drapeado la ruta 2D para que recogiera los valores de la coordenada Z de la superficie generada previamente en una polilínea 3D, como se muestra en la figura siguiente.

Figura 29: Rutas 3D adoptando la coordenada vertical de la superficie topográfica rectificada



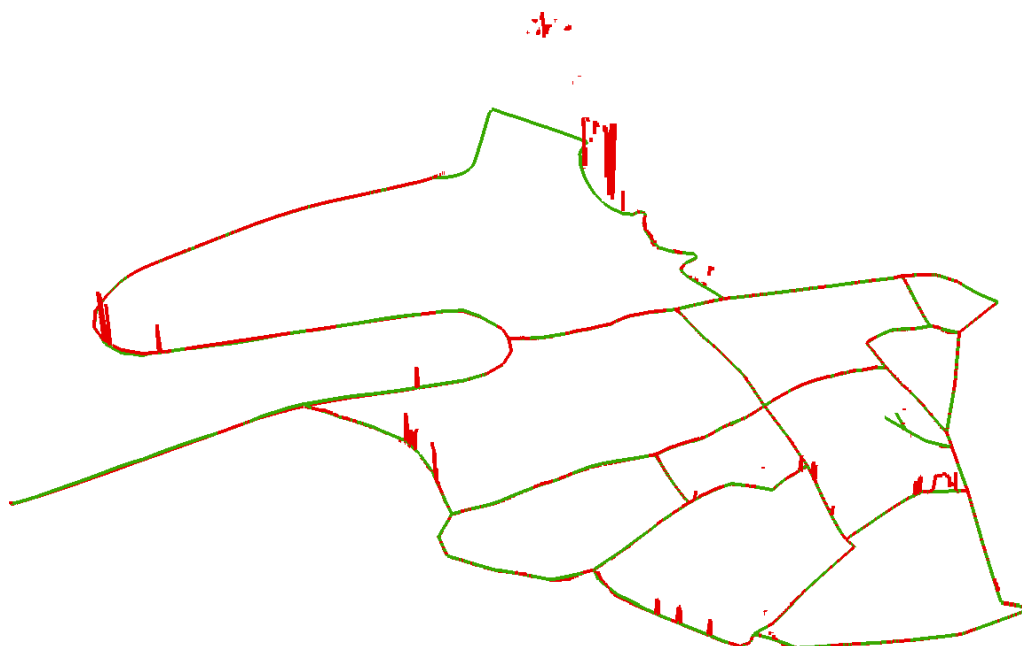
⁴ Esta funcionalidad será añadida en la próxima versión *ArcGIS 10.0*

Figura 30: Rutas 3D adoptando la coordenada vertical de la superficie topográfica original



El resultado contrasta con la interpolación con la topografía obtenida directamente del LTS (figura anterior) y como resultado se han eliminado los errores en la topografía. (Figura siguiente)

Figura 31: Rutas 3D antes (rojo) y después (verde) de la corrección



- **Incorporación de la información de la pendiente de cada subtramo**

Para poder calcular la pendiente en cada tramo ha sido necesario desarrollar una serie de rutinas utilizando los entornos de programación *ModelBuilder* de *ArcGIS* y *Visual Basic* de *Microsoft* (Figura siguiente **Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.**).

Figura 32: Diagrama de bloques del modelo de cálculo de pendientes



El módulo desarrollado crea seis campos para describir los puntos iniciales y finales de cada subtramo y utiliza unas rutinas desarrolladas en *VisualBasic* para extraer las coordenadas correspondientes de cada extremo de subtramo (inicio y final), las cuales son almacenadas para cada tramo en sus respectivos campos.

Una vez calculadas las seis coordenadas, se crea un campo nuevo para alojar el valor de la pendiente, que es calculada mediante la fórmula siguiente:

Figura 33: Fórmula utilizada para calcular la pendiente en cada tramo

$$Pendiente (\%) = 100 \cdot Abs \left(\frac{Z_f - Z_i}{\sqrt{(X_f - X_i)^2 + (Y_f - Y_i)^2}} \right)$$

Con esta fórmula se obtiene el valor absoluto de la pendiente en cada tramo. Una vez obtenidas las pendientes y asignadas como un atributo al campo correspondiente en cada tramo, se eliminan los campos auxiliares creados para su cálculo.

A partir de estos datos se ha realizado un mapa temático para verificar visualmente la variación de los valores de cada tramo (**Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.** siguiente), de manera que se grafían en rojo las pendientes superiores al 12% y con una rampa de colores las inferiores al 6%, al 8% y al 12% respectivamente.

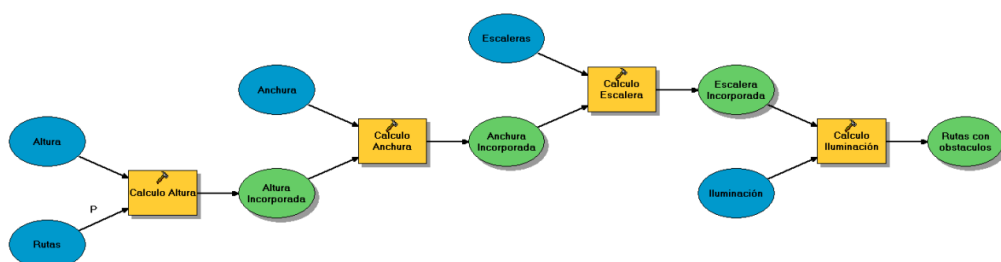
Figura 34: Mapa temático de pendientes de los subtramos



- **Incorporación de la información de los obstáculos**

A partir de las entidades (polígonos) que representan los tipos de obstáculos considerados (las escaleras, la altura, la anchura y la iluminación insuficiente) se ha procedido a asignar como atributo el tipo o tipos de obstáculo a cada tramo de ruta afectado. Para ello se ha desarrollado un módulo en Model Builder que interseca de manera secuencial cada una de las entidades que representan obstáculos con los tramos de ruta, como se grafica en la figura siguiente.

Figura 35: Diagrama de bloques del módulo de cálculo de obstáculos

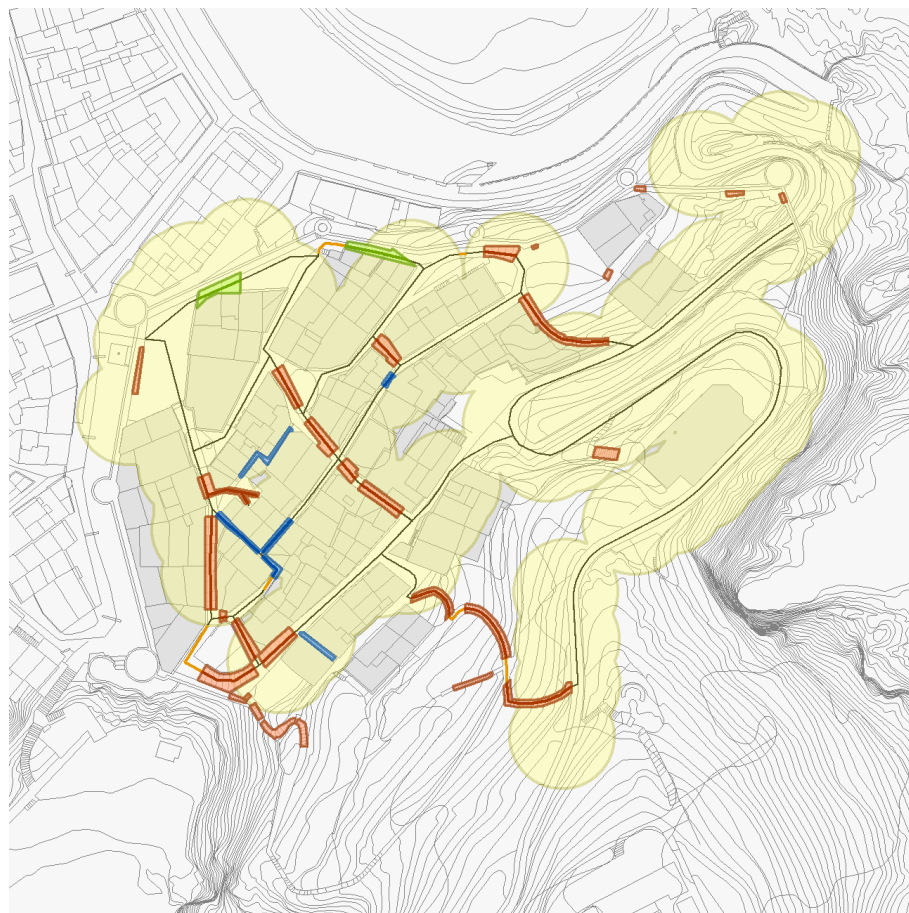


Con este proceso se consigue preparar los subtramos para ser evaluados por el módulo de cálculo de rutas:

- Se corta el tramo con la entidad obstáculo correspondiente, de manera que se obtienen fragmentos de subtramos dentro y fuera del polígono que se interseca
- Se agregan cuatro campos nuevos en la información de los tramos: “ALTURA”, “ANCHURA”, “ESCALERA” e “ILUMINACION”
- Se asigna el valor de tipo de obstáculo correspondiente a los fragmentos de subtramo obtenidos a partir de la información que han heredado del polígono que representaba el obstáculo.

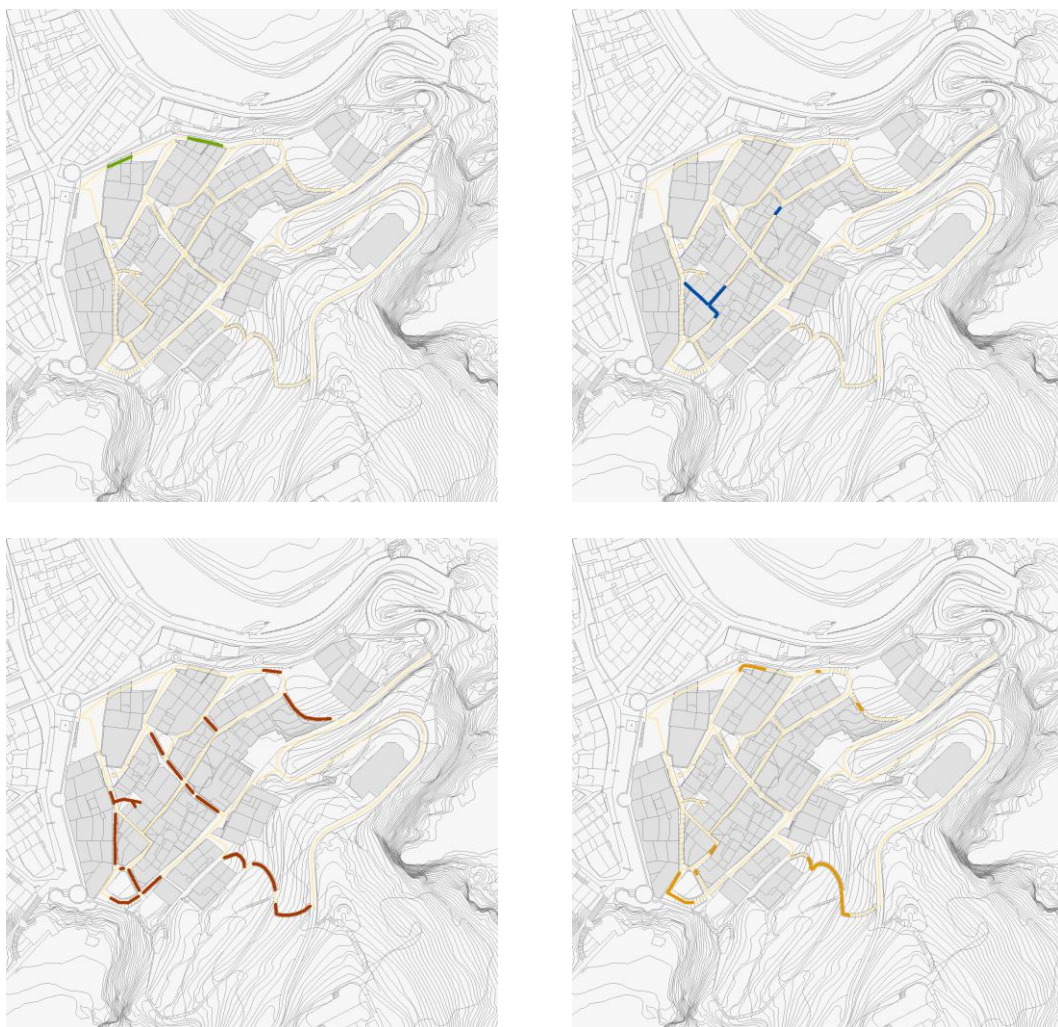
Los resultados obtenidos pueden verse, como se ve en la figura siguiente, en un único mapa temático para comprobar la correcta ejecución del módulo

Figura 36: Mapa temático con el tipo de obstáculo en los tramos



Asimismo se pueden visualizar individualmente para identificar los tramos afectados por los cuatro tipos de obstáculos considerados: Altura insuficiente en verde, anchura insuficiente en azul, presencia de escaleras en rojo e iluminación insuficiente en naranja, como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 37: Tramos de ruta afectados por altura, anchura, escaleras, iluminación insuficiente



1.3.7 Definición de las redes para el análisis

Una vez preparada la geometría es necesario construir la topología de red en *ArcGIS*⁵ para poder efectuar los análisis con el modulo *Network Analyst*.

Desde el punto de vista geométrico, el proceso para generar la red ha partido de una red inicial que siguiendo los ejes de calle, con nodos en sus intersecciones. La red de partida es una red topológicamente correcta a efectos de efectuar un análisis de redes (se trata de un grafo plano).

Las operaciones que se han realizado sobre este grafo inicial han sido de dos tipos:

- Fraccionamiento de las entidades en segmentos más pequeñas
- Adición de campos y asignación de atributos

⁵ Inicialmente se preveía utilizar el programa *TransCAD* pero finalmente se optó por el software *ArcGIS* y la extensión *Network Analyst* para poder trabajar en un único entorno.

Ninguna de estas operaciones ha alterado la red de manera que se impidiera realizar el análisis de redes puesto que continúa siendo apta para poder construir una red a partir de los puntos extremos de los subtramos generados.

Asimismo, incorpora la información necesaria para especificar las restricciones y los valores necesarios para poder ser evaluada desde el punto de vista de la accesibilidad.

Para evaluar las rutas óptimas se han construido tres redes unimodales en *ArcGIS*: la primera evalúa la ruta óptima con criterios para usuarios estándar, la segunda la evalúa para usuarios con movilidad reducida y la tercera para usuarios en silla de ruedas.

- **Definición de la red para usuarios estándar**

Para crear la red para evaluar las rutas para los usuarios estándar, han seguido los siguientes pasos:

- Crear un *feature dataset* que contendrá las *feature classes*, teniendo en cuenta que la referencia espacial debe ser la misma (con el nombre Red_STD)
- Copiar la *feature class* obtenida en los pasos anteriores dividida en subtramos, con las pendientes calculadas y los atributos de los obstáculos asignados (Rutas_STD)
- Crear un *network dataset* dentro de la *feature dataset* mediante el asistente en *ArcCatalog*.
- Se especifica en el asistente que la conectividad se establece a partir de los puntos finales de los tramos, no se considera ni la elevación y no se modelan los cambios de dirección.
- Como resultado, se generaran dos *feature datasets*: Rutas_STD_ND y Rutas_STD_ND_Junctions
- El asistente crea Rutas_STD_ND que contiene la topología de red que el programa construye a partir de Red_STD
- El asistente crea Rutas_STD_ND_Junctions que contiene los puntos extremos de los tramos de la red generada

Los criterios para evaluar las rutas para los usuarios estándar han sido:

- Minimizar la distancia recorrida entre las paradas
- Evitar los tramos con altura insuficiente

A partir de estas premisas se han definido dos evaluadores:

- Un evaluador de coste de distancia llamado EV_Distancia (Tabla siguiente)
- Un evaluador de restricción para evitar los tramos con altura insuficiente llamado RE_Altura (
- Tabla 2)

Tabla 1: Evaluador de distancia de la red para usuario estándar

Evaluador EV_Distancia (usuario estándar)	
Evaluado por defecto	Si
Parameters	None
Usage	Cost
Units	Meters
Data type	Double
Source Type	Field
Source Value	Shape_Length
Default Values Type	Constant
Default Value	0

Tabla 2: Evaluador de restricción de altura de la red para usuario estándar

Evaluador RE_Altura (usuario estándar)	
Evaluado por defecto	Si
Parameters	None
Usage	Restriction
Units	Undefined
Data type	Boolean
Source Type	Field
Source Value	Expression (se evalúa el valor "ALTURA")
Pre-Logic VBScript	if [OBST_ALTURA] = "ALTURA" then ALTURA = 1
Default Values Type	Constant
Default Value	Transversable

- Definición de la red para usuarios con movilidad reducida

Para crear la red para evaluar las rutas para los usuarios con movilidad reducida, se han seguido los siguientes pasos:

- Crear un *feature dataset* que contendrá las *feature classes*, teniendo en cuenta que la referencia espacial debe ser la misma (con el nombre Red_MR)
- Copiar la *feature class* obtenida en los pasos anteriores dividida en subtramos, con las pendientes calculadas y los atributos de los obstáculos asignados (Rutas_MR)
- Crear un *network dataset* dentro de la *feature dataset* mediante el asistente en *ArcCatalog*.

- Se especifica en el asistente que la conectividad se establece a partir de los puntos finales de los tramos, no se considera ni la elevación y no se modelan los cambios de dirección.
- Como resultado, se generaran dos *feature datasets*: Rutas_MR_ND y Rutas_MR_ND_Junctions
- El asistente crea Rutas_MR_ND que contiene la topología de red que el programa construye a partir de Red_STD
- El asistente crea Rutas_MR_ND_Junctions que contiene los puntos extremos de los tramos de la red generada

Los criterios para evaluar las rutas para los usuarios estándar han sido:

- Minimizar la distancia recorrida entre las paradas
- Evitar transitar por escaleras
- Evitar los tramos con altura insuficiente
- Evitar los tramos con anchura insuficiente
- Evitar los tramos con iluminación insuficiente

A partir de estas premisas se han definido cinco evaluadores:

- Un evaluador de coste de distancia llamado EV_Distancia (Tabla 3)
- Un evaluador de restricción para evitar los tramos con altura insuficiente llamado RE_Altura (Tabla 4)
- Un evaluador de restricción para evitar los tramos con anchura insuficiente llamado RE_Archura (Tabla 5)
- Un evaluador de restricción para evitar los tramos con presencia de escaleras llamado RE_Escaleras (Tabla 6)
- Un evaluador de restricción para evitar los tramos con iluminación inadecuada llamado RE_Iluminacion (Tabla 7)

Tabla 3: Evaluador de distancia de la red para usuario con movilidad reducida

Evaluador EV_Distancia (usuario con movilidad reducida)	
Evaluado por defecto	Si
Parameters	None
Usage	Cost
Units	Meters
Data type	Double
Source Type	Field
Source Value	Shape_Length
Default Values Type	Constant
Default Value	0

Tabla 4: Evaluador de restricción de altura de la red para usuario con movilidad reducida

Evaluador RE_Altura (usuario con movilidad reducida)	
Evaluado por defecto	Si
Parameters	None
Usage	Restriction
Units	Undefined
Data type	Boolean
Source Type	Field
Source Value	Expression (se evalúa el valor "ALTURA")
Pre-Logic VBscript	if [OBST_ALTURA] = "ALTURA" then ALTURA = 1
Default Values Type	Constant
Default Value	Transversable

Tabla 5: Evaluador de restricción de anchura de la red para usuario con movilidad reducida

Evaluador RE_Anchura (usuario con movilidad reducida)	
Evaluado por defecto	Si
Parameters	None
Usage	Restriction
Units	Undefined
Data type	Boolean
Source Type	Field
Source Value	Expression (se evalúa el valor "ANCHURA")
Pre-Logic VBscript	if [OBST_ANCHURA] = "ANCHURA" then ANCHURA = 1
Default Values Type	Constant
Default Value	Transversable

Tabla 6: Evaluador de restricción de escaleras de la red para usuario con movilidad reducida

Evaluador RE_Escaleras (usuario con movilidad reducida)	
Evaluado por defecto	Si
Parameters	None
Usage	Restriction
Units	Undefined
Data type	Boolean
Source Type	Field
Source Value	Expression (se evalua el valor "ESCALERA")
Pre-Logic VBscript	if [OBST_ESCALERA] = "ESCALERA" then ESCALERA = 1
Default Values Type	Constant
Default Value	Transversable

Tabla 7: Evaluador de restricción de iluminación de la red para usuario con movilidad reducida

Evaluador RE_Iluminacion (usuario movilidad reducida)	
Evaluado por defecto	No
Parameters	None
Usage	Restriction
Units	Undefined
Data type	Boolean
Source Type	Field
Source Value	Expression (se evalúa el valor "ILUMINACION")
Pre-Logic VBscript	<pre>if [ILUMINACION] <> "ILUMINACION SUFICIENTE" then ILUMINACION = 1</pre>
Default Values Type	Constant
Default Value	Transversable

• Definición de la red para usuarios en silla de ruedas

Para crear la red para evaluar las rutas para los usuarios con movilidad reducida, se han seguido los siguientes pasos:

- Crear un *feature dataset* que contendrá las *feature classes*, teniendo en cuenta que la referencia espacial debe ser la misma (con el nombre Red_SR)
- Copiar la *feature class* obtenida en los pasos anteriores dividida en subtramos, con las pendientes calculadas y los atributos de los obstáculos asignados (Rutas_SR)
- Crear un *network dataset* dentro de la *feature dataset* mediante el asistente en *ArcCatalog*.
- Se especifica en el asistente que la conectividad se establece a partir de los puntos finales de los tramos, no se considera ni la elevación y no se modelan los cambios de dirección.
- Como resultado, se generaran dos *feature datasets*: Rutas_SR_ND y Rutas_SR_ND_Junctions
- El asistente crea Rutas_SR_ND que contiene la topología de red que el programa construye a partir de Red_STD
- El asistente crea Rutas_SR_ND_Junctions que contiene los puntos extremos de los tramos de la red generada

Los criterios para evaluar las rutas para los usuarios estándar han sido:

- Minimizar la distancia recorrida entre las paradas
- Evitar transitar por escaleras
- Evitar circular por tramos con altura insuficiente
- Evitar circular por tramos con anchura insuficiente
- Evitar los tramos con iluminación insuficiente
- Evitar los tramos con pendiente superior al 12%

A partir de estas premisas se han definido siete evaluadores:

- Un evaluador de coste de distancia llamado EV_Distancia (Tabla 8)
- Un evaluador de coste de pendiente llamado EV_Pendiente (Tabla 9)
- Un evaluador de restricción para evitar los tramos con altura insuficiente llamado RE_Altura (Tabla 10)
- Un evaluador de restricción para evitar los tramos con anchura insuficiente llamado RE_Anchura (Tabla 11)
- Un evaluador de restricción para evitar los tramos con presencia de escaleras llamado RE_Escaleras (Tabla 12)
- Un evaluador de restricción para evitar los tramos con iluminación inadecuada llamado RE_Iluminacion (Tabla 13)
- Un evaluador de restricción para evitar los tramos con pendiente superior al 12% llamado RE_Pendiente, utilizando un parámetro para establecer el valor máximo y evaluando el valor de EV_Pendiente (Tabla 14)

Tabla 8: Evaluador de distancia de la red para usuario en silla de ruedas

Evaluador EV_Distancia (usuario en silla de ruedas)	
Evaluado por defecto	Si
Parameters	None
Usage	Cost
Units	Meters
Data type	Double
Source Type	Field
Source Value	Shape_Length
Default Values Type	Constant
Default Value	0

Tabla 9: Evaluador de pendiente de la red para usuario en silla de ruedas

Evaluador EV_Pendiente (usuario en silla de ruedas)	
Evaluado por defecto	No
Parameters	None
Usage	Cost
Units	Undefined
Data type	Double
Source Type	Field
Source Value	PENDIENTE
Default Values Type	Constant
Default Value	0

Tabla 10: Evaluador de restricción de altura de la red para usuario en silla de ruedas

Evaluador RE_Altura (usuario en silla de ruedas)	
Evaluado por defecto	Si
Parameters	None
Usage	Restriction
Units	Undefined
Data type	Boolean
Source Type	Field
Source Value	Expression (se evalúa el valor "ALTURA")
Pre-Logic VBScript	if [OBST_ALTURA] = "ALTURA" then ALTURA = 1
Default Values Type	Constant
Default Value	Transversable

Tabla 11: Evaluador de restricción de anchura de la red para usuario en silla de ruedas

Evaluador RE_Achura (usuario en silla de ruedas)	
Evaluado por defecto	Si
Parameters	None
Usage	Restriction
Units	Undefined
Data type	Boolean
Source Type	Field
Source Value	Expression (se evalúa el valor "ANCHURA")
Pre-Logic VBScript	if [OBST_ANCHURA] = "ANCHURA" then ANCHURA = 1
Default Values Type	Constant
Default Value	Transversable

Tabla 12: Evaluador de restricción de escaleras de la red para usuario en silla de ruedas

Evaluador RE_Escaleras (usuario en silla de ruedas)	
Evaluado por defecto	Si
Parameters	None
Usage	Restriction
Units	Undefined
Data type	Boolean
Source Type	Field
Source Value	Expression (se evalua el valor "ESCALERA")
Pre-Logic VBscript	if [OBST_ESCALERA] = "ESCALERA" then ESCALERA = 1
Default Values Type	Constant
Default Value	Transversable

Tabla 13: Evaluador de restricción de iluminación de la red para usuario en silla de ruedas

Evaluador RE_Iluminacion (usuario en silla de ruedas)	
Evaluado por defecto	Si
Parameters	None
Usage	Restriction
Units	Undefined
Data type	Boolean
Source Type	Field
Source Value	Expression (se evalua el valor "ILUMINACION")
Pre-Logic VBscript	<pre>if [ILUMINACION] <> "ILUMINACION SUFICIENTE" then ILUMINACION = 1</pre>
Default Values Type	Constant
Default Value	Transversable

Tabla 14: Evaluador de restricción de pendiente de la red para usuario en silla de ruedas

Evaluador RE_Pendiente (usuario en silla de ruedas)	
Evaluado por defecto	Si
Parameters	PendienteMax (Double, Default Value = 12)
Usage	Restriction
Units	Undefined
Data type	Boolean
Source Type	Field
Source Value	Function
Pre-Logic VBscript	<pre>EV_Pendiente > PendienteMax</pre>
Default Values Type	Constant
Default Value	Transversable

1.3.8 Obtención de los itinerarios accesibles

La extensión *Network Analyst* permite realizar cinco tipos de análisis:

- *Route*
- *Service Area*
- *Closest Facility*
- *OD Cost Matrix*
- *Vehicle Routing Problem*

Aunque existen muchos otros tipos de análisis en el estudio de redes utilizaremos la funcionalidad de tres tipos de análisis: Análisis de rutas, generación de la matriz de costes origen-destino y centro más cercano.

- **Definición de los puntos de interés**

Para evaluar las rutas se ha generado una capa de información con 20 puntos de interés (**Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.**), que corresponden a los puntos de origen y destino que se evaluarán en el análisis de redes para su salida en una página web.

Se asignado un identificador en forma de campo alfanumérico para identificar los puntos de interés con una letra de la “A” a la “T”.

Sin perjuicio de esto, el módulo es capaz de evaluar los itinerarios entre cualquier número de puntos arbitrarios, según cinco criterios:

- Visitando las paradas en un orden establecido (**Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.**)
- Visitando las paradas en el orden que permita recorrer la mínima distancia (**Error! No s'ha trobat l'origen de la referència.**)
- Visitando las paradas en el orden que permita recorrer la mínima distancia pero manteniendo los puntos de origen y final
- Visitando las paradas en el orden que permita recorrer la mínima distancia pero manteniendo el punto de origen
- Visitando las paradas en el orden que permita recorrer la mínima distancia pero manteniendo el punto final

Figura 38: Puntos de interés evaluados en el análisis de redes



Figura 39: Ruta con múltiples destinos, siguiendo un orden establecido y optimizando la distancia



